

PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS GLOBALES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Un enfoque integrado de la sostenibilidad mediante
la ingeniería del software y la transformación digital



Compiladores

Luz Santamaría Granados
Martha Susana Contreras Ortiz
Sergio Arley Puerto Moreno



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA

VUELTA A LA EDUCACIÓN - SINCE 1792

Granados, Luz Santamaría; Contreras Ortiz, Martha Susana; Puerto Moreno, Sergio Arley / Perspectivas y desafíos globales de la inteligencia artificial: un enfoque integrado de la sostenibilidad mediante la ingeniería del software y la transformación digital / Tunja: Universidad Santo Tomás, Ediciones USTA, 2026.

Tamaño: 17 x 24 / 246 páginas.

ISBN: 978-628-7845-54-1

Incluye referencias bibliográficas

© Santiago Andrés Arias Mancilla; Jhon Alexis Piracoca Arcos; Santiago Hernández Molina; Cristian Felipe Solano Balaguera; Danna Valentina Hernández Pinilla; Juan Manuel Gutiérrez Gómez; Yesica Nataly Torres Hernández; Laura Sofía Guío Camargo; Oscar Mauricio Sanabria Mendoza; Santiago Alexander Aguilar Torres

© Universidad Santo Tomás, 2026

Todos los derechos reservados conforme a la ley. Se permite la reproducción citando fuente. El pensamiento que se expresa en esta obra, es exclusiva responsabilidad del autor y no compromete a la ideología de la Universidad Santo Tomás.

Primera edición, 2026
ISBN: 978-628-7845-54-1

Diagramación:
Editorial Jotamar S.A.S.
Calle 57 No. 3-39
editorialjotamar@yahoo.com
Tunja, Boyacá, Colombia.



Ediciones USTA
Universidad Santo Tomás
2026
Departamento Ediciones USTA Tunja
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja

Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente por fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo.
Ley 23 de 1982.

PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS GLOBALES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL:

UN ENFOQUE INTEGRADO DE LA SOSTENIBILIDAD MEDIANTE LA INGENIERÍA DEL SOFTWARE Y LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

COMPILADORES

Luz Santamaría Granados

Martha Susana Contreras Ortiz

Sergio Arley Puerto Moreno

AUTORES

Santiago Andrés Arias Mancilla

Jhon Alexis Piracoca Arcos

Santiago Hernández Molina

Cristian Felipe Solano Balaguera

Danna Valentina Hernández Pinilla

Juan Manuel Gutiérrez Gómez

Yesica Nataly Torres Hernández

Laura Sofía Guío Camargo

Oscar Mauricio Sanabria Mendoza

Santiago Alexander Aguilar Torres

PRÓLOGO

Afrontar una transformación sin precedentes, impulsada por tecnologías disruptivas, el avance acelerado de la Inteligencia Artificial (IA) y los desarrollos en la Ingeniería de Software, implica replantear los mecanismos de generación de conocimiento y la forma de enfrentar los retos contemporáneos desde una perspectiva ética, técnica y social. En este contexto, el libro *“Perspectivas y desafíos globales de la Inteligencia Artificial: un enfoque integrado de la sostenibilidad mediante la ingeniería del software y la transformación digital”* se presenta como una contribución derivada del análisis interdisciplinario de este nuevo panorama.

Esta compilación presenta investigaciones que articulan la Inteligencia Artificial, la transformación digital y el desarrollo sostenible, abordando temas como la ética, la pedagogía, y las nuevas arquitecturas de software. Se evidencia cómo la ingeniería de software avanza hacia modelos más escalables, como los microservicios, mientras que la IA redefine procesos mediante algoritmos avanzados. La transformación digital, más que un ideal aspiracional, se consolida como una necesidad estructural en empresas, instituciones y gobiernos, sustentada en tecnologías como blockchain, big data, Internet de las Cosas, entre otros fundamentos del nuevo paradigma digital.

A partir de las investigaciones desarrolladas por estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, se evidencia una evolución significativa del conocimiento en campos emergentes vinculados a la transformación digital, la ingeniería del software y la inteligencia artificial. El contenido de los capítulos aborda iniciativas orientadas a la solución de problemáticas reales mediante el uso de tecnologías disruptivas. Entre ellas se destacan: ViajeExpress, una propuesta de mejora del transporte urbano mediante pagos QR;

aplicaciones de IA en el ámbito odontológico; y reflexiones bioéticas sobre el transhumanismo. Además, se analizan tendencias en lenguajes de programación, el diseño de arquitecturas de microservicios con enfoque hexagonal, la gestión del riesgo empresarial en PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas) a través de ciencia de datos, y la gamificación como estrategia pedagógica. También se resalta la articulación entre transformación digital y energías limpias como respuesta tecnológica al cambio climático. De manera integrada, los capítulos ofrecen una mirada crítica, aplicada y propositiva que aporta al diseño ético, sostenible y socialmente responsable del entorno digital contemporáneo.

La consolidación de esta obra colectiva evidencia los avances investigativos alcanzados por los autores, posicionando su producción académica como un referente aplicado para la solución de problemáticas reales desde la ingeniería. Este libro, como resultado de dichas investigaciones, fortalece las capacidades formativas e investigativas de la comunidad universitaria, y se erige como un hito conmemorativo en el vigésimo aniversario de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, reafirmando su compromiso con la excelencia académica y la innovación tecnológica al servicio de la sociedad.

PhD. Luz Santamaría Granados

INTRODUCCIÓN

Este libro reúne una selección de diez investigaciones desarrolladas por estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, estructuradas en tres capítulos temáticos: Ingeniería del Software, Inteligencia Artificial y Transformación Digital. Cada capítulo refleja el enfoque académico y aplicado que caracteriza la investigación y la formación en esta Facultad, articulando soluciones innovadoras frente a problemáticas reales.

El primer capítulo aborda avances en metodologías, arquitecturas y estrategias pedagógicas aplicadas al desarrollo de software, resaltando enfoques como la gamificación, los microservicios y las tecnologías Front-End/Back-End. El segundo capítulo examina el impacto de la inteligencia artificial en contextos como la odontología, el desarrollo ético-tecnológico y el análisis bioético del transhumanismo, posicionando la IA como eje transversal de innovación. Finalmente, el tercer capítulo se enfoca en casos de transformación digital, abordando desde pagos inteligentes y energías limpias hasta la gestión de riesgos en PYMES, destacando la relación entre tecnología y sostenibilidad.

Las investigaciones compiladas en esta obra evidencian cómo la producción académica desarrollada en el ámbito de la ingeniería de sistemas contribuye al diseño de soluciones pertinentes, sostenibles y comprometidas con el entorno social. A través de la articulación entre teoría, práctica e innovación tecnológica, se presenta una mirada crítica, aplicada y propositiva sobre los desafíos del entorno digital contemporáneo, fortaleciendo así la formación de profesionales orientados al avance científico y al desarrollo ético y responsable.

ÍNDICE

Prólogo	5
Introducción.....	7
Capítulo 1: Ingeniería del software	
Tendencias actuales en tecnologías front-end y back-end	15
Resumen	15
Abstract	17
Introducción.....	19
Revisión de la literatura.....	20
Análisis de los trabajos	22
Resultados	26
Conclusiones	30
Referencias	31
Gamificación y videojuegos colaborativos: estrategias para enseñar programación y competencias transversales	37
Resumen	37
Abstract	38
Introducción.....	39
Metodología	44
Resultados	46
Impacto en las habilidades blandas	48
Integración de videojuegos en entornos educativos	49
Impacto de la gamificación en la enseñanza:	
Análisis de desafíos	50
Discusión	58
Conclusiones	59
Referencias	60
Diseño de microservicios basado en arquitectura hexagonal: aplicación en la formación de ingenieros de sistemas	65
Resumen	65
Abstract	66
Introducción.....	67
Microservicios y monolitos	68
Arquitectura por capas y domain driven design	68
Background	69
Metodología	70
Resultados	74

Discusión de resultados.....	77
Conclusiones	78
Referencias	80

Capítulo 2: inteligencia artificial

Blockchain: aplicaciones que trascienden las criptomonedas 85

Resumen	85
Abstract	86
Introducción.....	87
Fundamentos de la tecnología blockchain	89
Términos clave	89
Blockchain.....	92
Estructura de blockchain.....	92
Funcionamiento de blockchain.....	93
Aplicaciones de blockchain	94
Blockchain en la gestión de la cadena de suministros	94
Blockchain en la gestión de la cadena De suministros automovilísticos.....	95
Blockchain en sistemas electorales electrónicos	104
Blockchain en la gestión de datos médicos.....	109
Contratos propuestos.....	110
Conclusiones	114
Referencias	114

Inteligencia artificial: un aliado estratégico

en el desarrollo de software.....117

Abstract	117
Introducción.....	118
Estado del arte.....	119
Clúster	120
Visualización de densidad	121
Principales herramientas y modelos de ia usados para el desarrollo de software	127
Potenciando el desarrollo de software con ia	129
Documentación.....	129
Limitaciones de la ia en el desarrollo de software.....	130
Implicaciones éticas de la ia	132
Discusión.....	132
Conclusiones	134
Referencias	134

Inteligencia artificial y transhumanismo:	
convergencias y dilemas bioéticos	139
Resumen	139
Introducción.....	140
Revisión de literatura.....	143
Fundamentos del transhumanismo y revolución de la ia.....	148
Medicina, neurociencia y longevidad:	
ia y las mejoras humanas.....	151
Singularidad tecnológica: ¿el fin de la condición natural del ser humano?	154
Consecuencias no deseadas: riesgos para la salud y la sociedad	155
Conclusiones	162
Referencias	163
Aplicaciones de inteligencia artificial en odontología: un análisis sistemático de la literatura	169
Resumen	169
Introducción.....	170
Metodología	174
Preguntas de investigación.....	174
Búsqueda de literatura.....	175
Selección de estudios	176
Evaluación de calidad	177
Resultados	177
Aprendizaje supervisado	185
Aprendizaje no supervisado	186
Aprendizaje profundo.....	187
Discusión	189
Conclusiones	190
Referencias	191
 Capítulo 3: Transformación digital	
Estado del conocimiento sobre la gestión integral de riesgos en procesos de negocio de pymes de tunja (boyacá): un análisis scientométrico y bibliográfico	195
Resumen	195
Introducción.....	196
Materiales y métodos.....	197
Clústeres detectados	203

Sistemas de apoyo a la toma de decisiones	207
Desafío de las pymes en términos de gestión de riesgos	208
Herramientas para gestionar riesgos	209
Tecnificación de los procesos relacionados con la gestión de riesgo.....	211
Machine learning como herramienta de proyección en la gestión de riesgos empresariales	213
Discusión.....	214
Conclusiones	214
Referencias	215
Innovación tecnológica y energía limpia: estrategias para enfrentar el cambio climático en colombia	221
Resumen	221
Abstract	222
Introducción.....	222
Metodología	224
Resultados	224
Discusión.....	246
Conclusiones	247
Referencias	250
El futuro del transporte: pagos qr y su impacto en la movilidad urbana	259
Resumen	259
Abstract	260
Introducción.....	260
Metodología	264
Discusión.....	281
Conclusiones	282
Referencias	282

CAPÍTULO 1:

INGENIERÍA DEL SOFTWARE

Tendencias actuales en tecnologías front-end y back-end

Santiago Andrés Arias Mancilla¹

RESUMEN

Este artículo aborda la evolución del desarrollo de aplicaciones web, móviles y de escritorio a lo largo del tiempo, destacando la importancia de los lenguajes de programación en este proceso. Inicialmente, se mencionan Java, PHP y C# como los primeros lenguajes para el desarrollo de aplicaciones web, subrayando su evolución constante para mantenerse relevantes en la programación actual.

El estudio se centra en los lenguajes de programación predominantes en el desarrollo front-end (JavaScript, TypeScript y Golang) y back-end (JavaScript, Python, PHP y Ruby), utilizados por grandes empresas como Google, Meta y IBM. El objetivo es identificar las tendencias actuales y el avance de estas tecnologías, especialmente considerando la diversidad de dispositivos en los que las aplicaciones deben funcionar.

La revisión de la literatura abarca la ejecución de una cadena de búsqueda específica que resulta en 1.326 documentos. Se analiza la distribución de estos documentos por tipo, año de publicación y su impacto a través de métricas de citas.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. santiago.arias@usantoto.edu.co.

El análisis de los trabajos se realiza mediante un enfoque cualitativo hermenéutico, seleccionando 50 artículos relevantes que se ajustan a criterios específicos. Estos criterios incluyen la relevancia para las tendencias actuales, un enfoque detallado en lenguajes de programación, la cobertura integral, estudios de caso relevantes, amplitud tecnológica, prácticas innovadoras, aplicaciones prácticas, diversidad de fuentes e inclusión de nuevas tecnologías.

De los 50 artículos seleccionados, se destacan 20 que abordan diversas áreas del desarrollo web, desde herramientas y tendencias hasta el análisis de lenguajes de programación y estudios de caso específicos. Estos artículos incluyen “Modern tools and current trends in web-development”, “Análisis de los lenguajes de programación más utilizados en el desarrollo de aplicaciones web y móviles”, “Lenguajes de programación”, “El lenguaje de programación Python/The programming language Python”, “Custom Analytics Module and Admin Panel for Websites built in PHP (Laravel)”, y “Pro-Java clustering and scalability”, para que el lector pueda tomar una referencia sobre los lenguajes de programación que podría aprender e implementar en caso de necesitar actualizarse sobre las últimas tecnologías.

En las conclusiones generales, se resalta la importancia de la versatilidad en la elección de herramientas, el énfasis en la eficiencia y la satisfacción del usuario, la necesidad de adaptabilidad y permanencia, la colaboración integral entre frontend y backend, la atención a la escalabilidad y preparación para el futuro, la adopción sostenida de tecnologías emergentes y la creciente importancia del software libre en el siglo XXI.

Palabras clave: Desarrollo de páginas web, Frontend y Backend, Lenguajes de programación, Revisión de literatura, Tendencias tecnológicas.

ABSTRACT

This article addresses the evolution of web, mobile and desktop application development over time, highlighting the importance of programming languages in this process. Initially, Java, PHP and C# are mentioned as the first languages for the development of web applications, underlining their constant evolution to remain relevant in current programming.

The study focuses on the predominant programming languages in front-end development (JavaScript, TypeScript and Golang) and back-end development (JavaScript, Python, PHP and Ruby), used by large companies such as Google, Meta and IBM. The objective is to identify current trends and the advancement of these technologies, especially considering the diversity of devices on which applications must work.

The literature review encompasses the execution of a specific search string resulting in 1,326 documents. The distribution of these documents by type, year of publication and their impact are analyzed through citation metrics.

The analysis of the works is carried out using a qualitative hermeneutic approach, selecting 50 relevant articles that fit specific criteria. These criteria include relevance to current trends, a detailed focus on programming languages, comprehensive coverage, relevant case studies, technological breadth, innovative practices, practical applications, diversity of sources, and inclusion of new technologies.

Of the 50 selected articles, twenty stand out that address various areas of web development, from tools and trends to the analysis of programming languages and specific case studies. These articles include “Modern tools and current trends in web-development”, “Analysis of the most used programming languages in the development of web and mobile applications”, “Programming languages”, “Python programming language/The programming language Python”, “Custom Analytics Module and Admin Panel for Websites built in PHP (Laravel)” and “Pro Java clustering and scalability”, to provide the reader with a reference on the programming languages they could learn and implement in case they need to update themselves on the latest technologies.

In the general conclusions, the importance of versatility in the choice of tools is highlighted, the emphasis on efficiency and user satisfaction, the need for adaptability and permanence, comprehensive collaboration between frontend and backend, attention to scalability and preparation for the future, the sustained adoption of emerging technologies and the growing importance of free software in the 21st century.

Keywords: Frontend and Backend, Literature review, Programming languages, Technological trends, Web development.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo el desarrollo de aplicaciones web, móviles y de escritorio ha ido evolucionando con el fin de facilitar el acceso a información, la comunicación, el trabajo y la educación, dando paso a que estos cambios beneficien y permitan mejorar la calidad de vida para los usuarios. Es así como nacen los lenguajes de programación, los cuales se han actualizado con el fin de hacer posible la creación de sitios web, aplicaciones web, programas y plataformas que se usan diariamente en la sociedad.

Teniendo en cuenta que los primeros lenguajes para desarrollo de aplicaciones web fueron Java, PHP y C# (Alcolea Huertos, 2019), siendo en la actualidad los de más uso para el desarrollo en múltiples campos de la programación. No obstante, para mantenerse en vigencia han tenido que pasar por varias actualizaciones, con librerías y frameworks que ayudan a seguir manteniéndose como lenguajes de alto nivel y poder competir en el mercado de la programación.

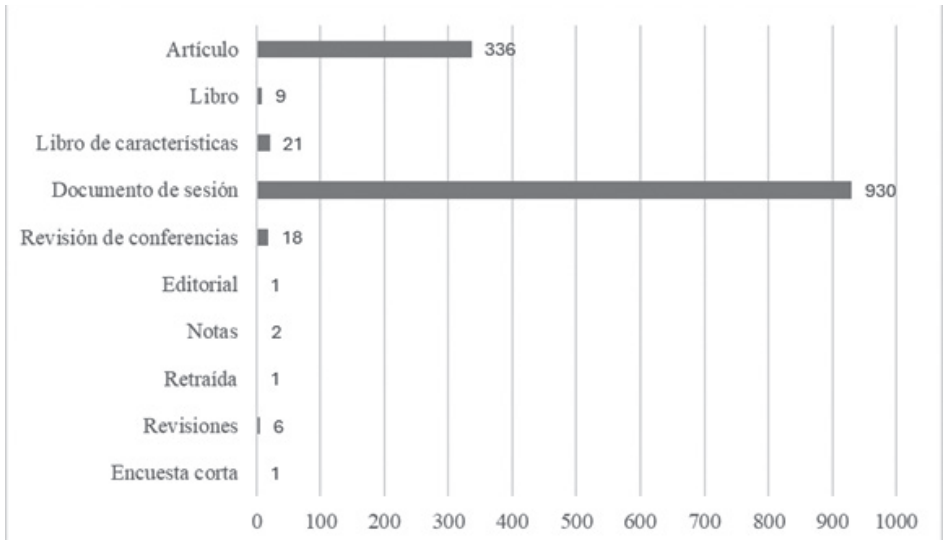
En la actualidad, los lenguajes de programación más utilizados en la industria del desarrollo front-end son: JavaScript, TypeScript y Go, usando diferentes tipos de frameworks y librerías desarrolladas para crear interfaces de usuario interactivas y eficientes, desarrollando al mismo tiempo aplicaciones web como SPA (Single Page Application) y PWA (Progressive Web App); por otra parte, para la industria del desarrollo back-end se utilizan diferentes tipos de lenguajes como JavaScript, Python, PHP y Ruby. De la misma manera que en el front-end, estos cuentan con librerías y herramientas para leer, interpretar y enviar peticiones de la manera que necesite el bróker o el usuario. Múltiples empresas como Google, Meta, IBM, entre otras, emplean estos lenguajes para el desarrollo de todas sus aplicaciones (Layedra Larrea et al., 2022).

El objetivo de este artículo es dar a conocer cuáles son los lenguajes de programación que están en tendencia, qué empresas son líderes en desarrollo de estas tecnologías, cuál es el avance de estas tecnologías tanto para desarrollo back-end como desarrollo front-end, y cómo hoy en día las aplicaciones no solo están pensadas para el uso en un solo dispositivo, sino que puedan funcionar en diferentes tamaños de pantallas (Sharma et al., 2023). Por lo tanto, es importante saber cuál es la tendencia en lenguajes para el desarrollo de estas aplicaciones.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de información utilizando la cadena de búsqueda “frontend” o “backend” y “programming”, lo que resultó en la identificación de 1.326 documentos. Estos documentos fueron clasificados en la **Figura 1** según su tipo de publicación para identificar aquellos más recientes y relevantes para comprender las tendencias en el desarrollo web.

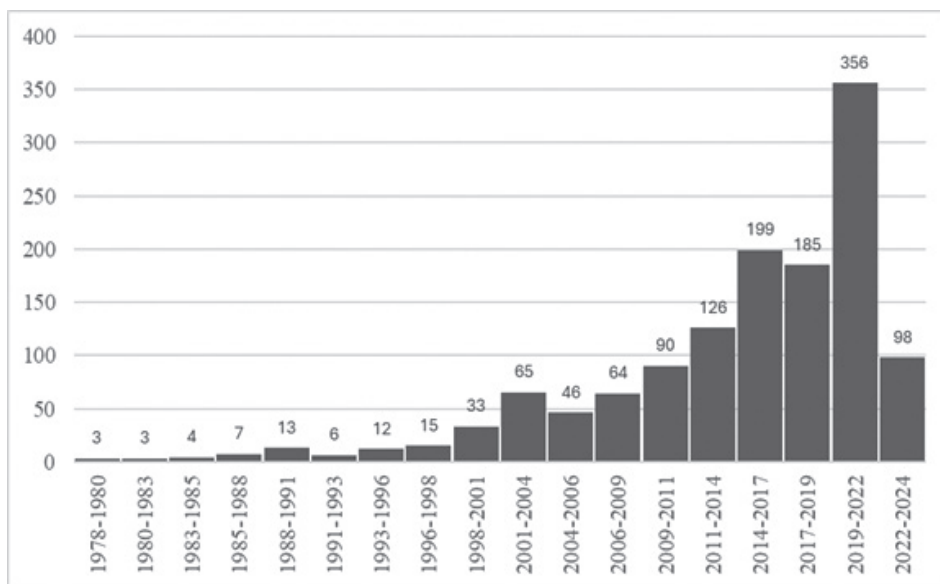
Figura 1
Documentos por tipo.



Nota. la figura muestra la relación de documento por tipo. Fuente: Autores (2025).

En la **Figura 2**, se presentan los 1.326 artículos publicados por año, con el propósito de detallar cuáles son los más recientes. Esta revisión tiene como objetivo identificar aquellos artículos que son relevantes para comprender las tendencias en el desarrollo tanto del backend como del frontend. No solo buscamos conocer las últimas investigaciones, sino también destacar aquellos que proporcionan valiosa información sobre los lenguajes de programación en tendencia para ambas áreas de desarrollo.

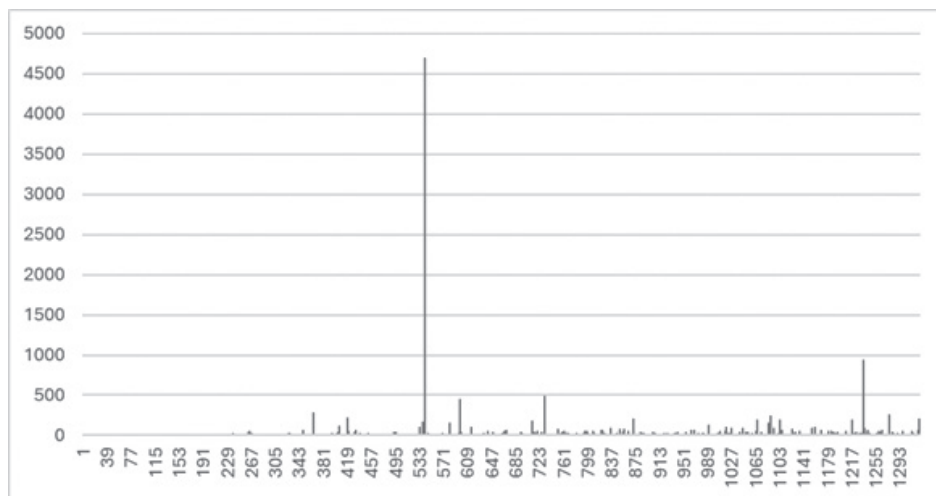
Figura 2
Documentos por año de publicación.



Nota. la figura muestra la relación de documento por año de publicación. Fuente: Autores (2025).

La **Figura 3** ofrece una panorámica detallada de la influencia acumulada por los 1.326 artículos o libros a lo largo del tiempo, a través de la métrica de citas. Este indicador cuantifica el impacto y la resonancia que estas obras han tenido en la comunidad académica. A medida que observamos las fluctuaciones en las barras de la gráfica, podemos discernir patrones de reconocimiento y relevancia, destacando aquellos trabajos que han sido citados de manera significativa. En esencia, esta representación de la Figura 3 proporciona una visualización clara y concisa de la contribución y aceptación de cada artículo o libro en el ámbito académico, revelando su influencia en el diálogo y desarrollo de conocimiento en la disciplina correspondiente.

Figura 3
Citaciones.



Nota. la figura muestra el número de citas. Fuente: Autores (2025).

ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS

Se realizó una investigación basada en un enfoque cualitativo de tipo documental, empleando un enfoque hermenéutico. Este enfoque no solo facilita la interpretación de la realidad y los datos, sino que también reconoce la posibilidad de que el fenómeno bajo estudio evolucione con el tiempo, lo que podría requerir nuevos métodos de comprensión. El objetivo principal de este estudio fue analizar en detalle los contextos estructurales y situacionales, con el fin de lograr una comprensión profunda de la realidad, sus interconexiones y su dinámica (Domínguez, 2007).

Para la recopilación de datos, se empleó la técnica de revisión documental, que implica examinar minuciosamente fuentes de información tanto primarias como secundarias, con un énfasis especial en documentos electrónicos. El proceso de investigación siguió las etapas recomendadas por Rizo Maradiaga (2015), que incluyen la planificación, la recopilación de datos, el análisis e interpretación de la información (a

través de la categorización y codificación), el análisis de resultados y la redacción de conclusiones.

De la amplia cadena de búsqueda anterior que comprende 1.326 artículos, se realizó una selección meticulosa mediante una cadena de búsqueda específica que abarcó categorías clave como Backend, Frontend, lenguajes de programación y programación en general. Este proceso de filtrado permitió identificar y elegir con precisión los 20 artículos presentados en la **Tabla 1**, los cuales se consideraron como los más relevantes y valiosos para analizar en profundidad en el contexto de este trabajo. Estos recursos destacados constituirán la base del estudio, aportando perspectivas significativas a la investigación.

Tabla 1
Análisis de cadena de búsqueda

Autor	Título	Año	Publicado en	Tipo de documento
Mehdi Jazayeri	Some Trends in Web Application Development	2007	Conference Paper	Artículo
Sudhanshu Prakash Tiwari	Study and Comparative analysis of Donation based websites	2021	International Conference on Computing Sciences	Estudio comparativo
István Koren, Ralf Klamma	The Exploitation of OpenAPI Documentation for the Generation of Web Frontends	2018	Developers Track	Artículo
Vaibhav Dalip, Anup Lal Yadav, Ankita Joshi	Custom Analytics Module and Admin Panel for Websites built in PHP (Laravel)	2022	International Conference on Cyber Resilience	Estudio analítico
Ivet Challenger Pérez, Yanet Díaz Ricardo, Roberto Becerra García	El lenguaje de programación Python/ The programming language Python	2014	Revista Ciencias Holguín	Artículo

Autor	Título	Año	Publicado en	Tipo de documento
Emilia Mendes, Nile Mosley	Web Engineering	2006	Web Engineering	Libro
Tarun Sharma, Shruti Gupta, Uday Raj Singh	Analyzing the difference between ReactJS and AngularJS	2023	CICTN	Artículo comparativo
Palak Dwivedi, Kshamta, Abhishek Joshi	ReactJS For Trading Applications	2022	International Conference on Cyber Resilience	Artículo
Sri Nishant Reddy Lakkireddy, Aaron A. Thomas, T. Shreya, Talakoti Mamatha	Web-based Application for Real-Time Chatting using Firebase	2022	International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems	Artículo informativo
Kavya Guntupally, Ranjeet Devarakonda, Kenneth Kehoe	Spring Boot based REST API to Improve Data Quality Report Generation	2019	IEEE International Conference on Big Data	Artículo
Jorge Acetozi	Pro Java clustering and scalability	2017	Apress	Libro de información
Denys Klochkov, Jan Mulawka	Improving ruby on rails-based web application performance	2021	Information (Switzerland)	Artículo
Erik Wittern, Alan Cha, Jim A. Laredo	Generating GraphQL-wrappers for REST(-like) APIs	2018	Lecture Notes in Computer Science	Artículo
Rabbani Rasha, Mohammad M. Khan, Mehedi Masud, Mohammed A. Al-Zain	Investigain: A productive asset management web application	2021	Computer Systems Science and Engineering	Investigación

Autor	Título	Año	Publicado en	Tipo de documento
P. Nagaraj, V. Muneeswaran, A. V.S.R. Pavan Naidu, N. Shanmukh, P. Vinod Kumar, G. Sri Satyanarayana	Automated E-Commerce Price Comparison Website using PHP, XAMPP, MongoDB, Django, and Web Scrapping	2023	ICCCI	Artículo referencia
Amit Shersingh Chauhan, Sushil Bhardwaj, Ruman Shaikh, Abhishek Mishra, Sunita Nandgave	Food Ordering website 'Cooked with care' developed using MERN stack	2022	ICICCS	Artículo referencia
Natalia I. Patricia Layedra Larrea, Steven A. Salazar Cazco III, Marco I. Vinicio Ramos Valencia, Bryan I. Alexander Baldeón Hermida	Análisis de los lenguajes de programación más utilizados en el desarrollo de aplicaciones web y móviles	2022	Revista Científica	Artículo
Debani Prashad Mishra, Kshirod Kumar Rout, Surender Reddy Salkuti	Modern tools and current trends in web-development	2021	Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science	Artículo
Cátia A. R. Freire, Fernando A. F. Ferreira, Elias G. Carayannis, João J. M. Ferreira	Artificial Intelligence and Smart Cities: A DEMATEL Approach to Adaptation Challenges and Initiatives	2023	IEEE Transactions on Engineering Management	Artículo
Fan D., Wang F., He J.	EAST Experimental Data Gateway Based on RESTful and Microservice Architecture	2023	Dagstuhl Publishing	Artículo

Nota. Elaboración propia (2025)

RESULTADOS

Después de un exhaustivo proceso de selección basado en criterios específicos, se han identificado y elegido cuidadosamente los veinte artículos finales que destacan las tendencias más relevantes en programación para backend y frontend. Estos artículos no solo abordan las prácticas actuales en el desarrollo web, sino que también ofrecen una perspectiva integral de las tecnologías emergentes y su aplicación práctica en proyectos reales.

Criterios de selección:

Relevancia para Tendencias Actuales: Selecciona artículos que aborden las tendencias más actuales en el desarrollo tanto del backend como del frontend.

Enfoque en Lenguajes de Programación: Prioriza aquellos artículos que profundicen en lenguajes de programación específicos utilizados en el desarrollo de aplicaciones web, como Python, PHP, y otros mencionados en los textos.

Cobertura Integral: Asegúrate de tener una variedad de artículos que cubran diversas áreas, desde la programación en sí hasta el uso de herramientas modernas y su aplicación en proyectos reales.

Estudios de Caso Relevante: Valora los artículos que presenten estudios de caso detallados, como el desarrollo de una aplicación web en tiempo real o la implementación de una aplicación MERN stack.

Amplitud Tecnológica: Incluye artículos que aborden diferentes aspectos tecnológicos, como sistemas de bases de datos (MongoDB, Cassandra, Redis), herramientas de desarrollo (VS Code), y tecnologías emergentes.

Prácticas Innovadoras: Busca artículos que destaquen prácticas innovadoras en el desarrollo web, como el uso de software libre, análisis exhaustivo de características y aplicaciones, y enfoques modernos para la escalabilidad.

Aplicaciones Prácticas: Elige artículos que ofrezcan aplicaciones prácticas y ejemplos concretos en el desarrollo de aplicaciones web y móviles.

Diversidad de Fuentes: Asegúrate de tener una diversidad de fuentes, incluyendo libros, análisis de lenguajes de programación, y proyectos específicos desarrollados con tecnologías relevantes.

Inclusión de Nuevas Tecnologías: Considera artículos que aborden tecnologías emergentes, como Internet of Things (IoT) o la integración de servicios en la nube (AWS).

A continuación, se presenta la **Tabla 2** que resume los veinte artículos seleccionados, son presentados mediante nombre de investigación y descripción. En los cuales se utilizaron las siguientes métricas de evaluación:

- Relevancia de los temas tratados con respecto al desarrollo de aplicaciones web.
- Actualidad y pertinencia de los estudios presentados en los artículos.
- Profundidad y exhaustividad del análisis proporcionado en cada artículo.
- Variedad de enfoques y tecnologías abordadas, priorizando la inclusión de investigaciones que cubrieran tanto aspectos de backend como de frontend.
- Reputación de las fuentes y calidad del contenido proporcionado en cada artículo.

Tabla 2
Comparación de estudios

Investigación	Descripción
Modern tools and current trends in web-development	Este artículo presenta herramientas modernas para el desarrollo web eficiente con MongoDB, facilitando la experiencia del cliente y el trabajo de los desarrolladores en front-end y back-end.
Análisis de los lenguajes de programación más utilizados en el desarrollo de aplicaciones web y móviles	Examina los lenguajes más populares mediante una revisión sistemática enfocada en aplicaciones web y móviles.

Investigación	Descripción
Lenguajes de programación	Clasifica los lenguajes de programación en diferentes tipos, destacando su evolución, características generales y ejemplos clave.
El lenguaje de programación Python	Analiza el lenguaje Python y cómo se adapta al desarrollo de software libre, destacando su facilidad de uso y aplicaciones actuales.
Custom Analytics Module and Admin Panel for Websites built in PHP (Laravel)	Describe el desarrollo de un sitio con PHP (Laravel) combinando back-end y análisis de datos, incluyendo herramientas WYSIWYG como VS Code.
Pro Java clustering and scalability	Explora una app de chat escalable en tiempo real con tecnologías como Spring, Cassandra, Redis y RabbitMQ, incluyendo temas de infraestructura.
Food Ordering website 'Cooked with care' developed using MERN stack	Plataforma digital construida con la pila MERN para permitir que amas de casa vendan alimentos en línea y gestionen comentarios.
Web engineering	Recurso integral sobre ingeniería web: arquitectura, seguridad, accesibilidad y metodologías en el desarrollo de aplicaciones.
Analyzing the difference between ReactJS and AngularJS	Comparación detallada entre ReactJS y AngularJS: rendimiento, estructura, curva de aprendizaje y comunidad.
ReactJS For Trading Applications	Aplicación de ReactJS en trading: componentes, rendimiento, gestión de estado e integración con otras tecnologías.
Web-based Application for Real-Time Chatting using Firebase	Uso de Firebase para crear aplicaciones de mensajería en tiempo real, incluyendo autenticación y sincronización de datos.
Improving ruby on rails-based web application performance	Estudio sobre optimización de rendimiento en aplicaciones Ruby on Rails: consultas lentas, renderizado y escalabilidad.
Generating GraphQL-wrappers for REST(-like) APIs	Implementación de envoltorios GraphQL sobre APIs REST, mejorando flexibilidad y consultas de datos optimizadas.
Backend and frontend strategies for deployment of Web-GIS services	Discute estrategias para desplegar servicios Web-GIS en backend y frontend, abordando datos geoespaciales y seguridad.

Investigación	Descripción
Frontend Design for FMCW MIMO Radar Sensor	Diseño técnico del frontend en sensores radar FMCW MIMO, centrándose en recepción, filtrado, ADC y rendimiento.
A New Backend for Standard ML of New Jersey	Desarrollo de un backend renovado para el compilador Standard ML of New Jersey, con énfasis en rendimiento y portabilidad.
Mobile game programming in Haskell	Aborda retos de crear juegos móviles en Haskell: gráficos, eventos, rendimiento e interfaces.
Design and implementation of a web-based platform to support interactive environmental planning	Plataforma web para planificación ambiental interactiva: análisis espacial, visualización de datos y colaboración.
A Unified Backend for Targeting FPGAs from DSLs	Diseño de backend unificado que facilita el uso de DSLs en el desarrollo para FPGAs, mejorando productividad y flexibilidad.

Nota. Elaboración propia (2025).

El presente conjunto de artículos sobresale por su habilidad para abordar aspectos fundamentales del desarrollo web, abarcando desde las herramientas y tendencias más recientes hasta análisis profundos de lenguajes de programación y detallados estudios de caso. La selección se realizó considerando una variedad de fuentes y la inclusión de tecnologías emergentes, con el objetivo de proporcionar una base sólida y diversificada para la investigación. Esta compilación permite obtener una comprensión integral de las tendencias y prácticas contemporáneas en el ámbito del desarrollo de aplicaciones web.

Las métricas utilizadas para seleccionar los 20 artículos anteriores se basaron en la relevancia de los temas tratados con respecto al desarrollo de aplicaciones web, la actualidad y pertinencia de los estudios, la profundidad del análisis proporcionado, así como la variedad de enfoques y tecnologías presentes en los artículos. Se priorizó la inclusión de investigaciones que abordaran tanto aspectos de backend como de frontend, garantizando así una representación equilibrada de los distintos aspectos del desarrollo web. Además, se consideró la reputación de las fuentes y la calidad del contenido proporcionado en cada artículo.

CONCLUSIONES

En el análisis de las tendencias de lenguajes de desarrollo para backend y frontend, derivadas de los artículos seleccionados, se han extraído conclusiones clave que delinean el panorama actual del desarrollo web. Estas reflexiones ofrecen una visión más amplia y generalizada:

Versatilidad y Elección Informada: La diversidad de lenguajes de programación explorados resalta la importancia de la versatilidad en la selección de herramientas. Es fundamental realizar una elección informada basada en la comprensión de las características y fortalezas de cada lenguaje para abordar los desafíos específicos de cada proyecto de manera óptima.

Enfoque en Eficiencia y Satisfacción del Usuario: La priorización de herramientas modernas en el desarrollo web refleja un claro énfasis en la eficiencia y la satisfacción del usuario. La adopción de tecnologías avanzadas no solo impulsa la productividad del desarrollo, sino que también contribuye a experiencias de usuario más efectivas y satisfactorias.

Evolución Continua y Permanencia: La dualidad en la evolución de los lenguajes, como se evidencia en el artículo “Lenguajes de programación”, subraya la importancia de la adaptabilidad y la permanencia en el mundo del desarrollo. Los desarrolladores deben mantenerse actualizados sobre las nuevas tendencias sin perder de vista la estabilidad a largo plazo de sus proyectos.

Colaboración Integral Frontend-Backend: La integración eficiente entre frontend y backend, ejemplificada en proyectos como “Custom Analytics Module and Admin Panel”, destaca la necesidad de una colaboración sinérgica entre estas dos áreas para construir aplicaciones web coherentes y efectivas. Una comunicación fluida y una comprensión mutua son clave para el éxito del desarrollo web.

Escalabilidad y Preparación para el Futuro: La atención a la escalabilidad, especialmente evidente en “Pro Java clustering and scalability”, resalta la importancia de prepararse para el crecimiento futuro y adaptarse a las demandas cambiantes del entorno digital. La capacidad de escalar de

manera eficiente es crucial para garantizar que las aplicaciones puedan crecer y evolucionar junto con las necesidades del usuario.

Adopción Sostenida de Tecnologías Emergentes: La continua adopción de tecnologías emergentes, como la MERN stack en “Food Ordering web-site ‘Cooked with care’”, refleja la necesidad de mantenerse al día con las herramientas y enfoques que responden a las demandas de la era digital. La capacidad de adaptarse y adoptar nuevas tecnologías de manera oportuna es esencial para mantener la relevancia y la competitividad en el mercado.

Importancia de Software Libre: El análisis detallado de Python en “El lenguaje de programación Python” destaca la importancia creciente del software libre, especialmente en el siglo XXI, como un movimiento tecnológico destacado. La filosofía del software libre promueve la colaboración, la transparencia y la innovación, lo que lo convierte en una opción cada vez más popular para el desarrollo de software en diversas aplicaciones y contextos.

REFERENCIAS

- Acetozi, J. (2017). Pro Java clustering and scalability: Building real-time apps with Spring, Cassandra, Redis, WebSocket and RabbitMQ. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2985-9>
- Ahmad, I., Suwarni, E., Borman, R. I., Asmawati, Rossi, F., & Jusman, Y. (2021). Implementation of RESTful API web services architecture in takeaway application development. ICE3IS 2021: 1st International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System, 132–137. <https://doi.org/10.1109/ICE3IS54102.2021.9649679>
- Alcolea Huertos, A. (2019, mayo 28). La historia de los lenguajes de programación. Computer Hoy. <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/historia-lenguajes-programacion-428041>
- Caballer, M., De Alfonso, C., Moltó, G., Romero, E., Blanquer, I., & García, A. (s.f.). CodeCloud: A platform to enable execution of programming models on the clouds.

- Challenger Pérez, I., Díaz Ricardo, Y., & Becerra García, R. (2014). El lenguaje de programación Python. *Revista Ciencias Holguín*, 20, 1–13.
- Chauhan, A. S., Bhardwaj, S., Shaikh, R., Mishra, A., & Nandgave, S. (2022). Food ordering website ‘Cooked with care’ developed using MERN stack. *ICICCS 2022: International Conference on Intelligent Computing and Control Systems*, 1690–1695. <https://doi.org/10.1109/ICICCS53718.2022.9788224>
- Chun, B. G., Curino, C., Sears, R., Shraer, A., Madden, S., & Ramakrishnan, R. (2012). Mobius: Unified messaging and data serving for mobile apps. In *MobiSys’12: Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services* (pp. 141–153). <https://doi.org/10.1145/2307636.2307650>
- Dalip, V., Yadav, A. L., & Joshi, A. (2022). Custom analytics module and admin panel for websites built in PHP (Laravel). *ICCR 2022: International Conference on Cyber Resilience*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCR56254.2022.9995942>
- Del Sozzo, E., Baghdadi, R., Amarasinghe, S., & Santambrogio, M. D. (2018). A unified backend for targeting FPGAs from DSLs. *Proceedings of the International Conference on Application-Specific Systems, Architectures and Processors*, 2018-July. <https://doi.org/10.1109/ASAP.2018.8445108>
- Delwar, T. S., Aras, U., Siddique, A., Lee, Y., & Ryu, J. Y. (2023). Front-end development for radar applications: A focus on 24 GHz transmitter design. *Sensors*, 23(24). <https://doi.org/10.3390/s23249704>
- Domínguez, Y. (2007). Análisis de información y las investigaciones cuantitativas y cualitativas. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(2), 1–11.
- Dudjak, M., & Martinović, G. (2020). An API-first methodology for designing a microservice-based backend as a service platform. *Information Technology and Control*, 49(2), 206–223. <https://doi.org/10.5755/j01.itc.49.2.23757>
- Dwivedi, P., Kshamta, & Joshi, A. (2022). ReactJS for trading applications. *ICCR 2022: International Conference on Cyber Resilience*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCR56254.2022.9995932>
- Eriksen, M. (2010). Scaling Scala at Twitter. In *ACM SIGPLAN Commercial Users of Functional Programming (CUFP’10)*. <https://doi.org/10.1145/1900160.1900170>

- Farvardin, K., & Reppy, J. (2020). A new backend for Standard ML of New Jersey. *ACM International Conference Proceeding Series*, 64, 55–66. <https://doi.org/10.1145/3462172.3462191>
- Fitzpatrick, M. A., McGrath, C. M., & Young, S. P. (2014). Pathomx: An interactive workflow-based tool for the analysis of metabolomic data. *BMC Bioinformatics*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12859-014-0396-9>
- Freire, C. A. R., Ferreira, F. A. F., Carayannis, E. G., & Ferreira, J. J. M. (2023). Artificial intelligence and smart cities: A DEMATEL approach to adaptation challenges and initiatives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(5), 1881–1899. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3098665>
- Ghaemi, P., Swift, J., Sister, C., Wilson, J. P., & Wolch, J. (2009). Design and implementation of a web-based platform to support interactive environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(6), 482–491. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.05.002>
- Guntupally, K., Devarakonda, R., & Kehoe, K. (2019). Spring Boot based REST API to improve data quality report generation for big scientific data: ARM Data Center example. 2018 IEEE International Conference on Big Data, 5328–5329. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8621924>
- Hidayati, A., & Nabila, R. (2018). E-commerce development using AngularJS framework and RESTful API. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 403(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/403/1/012063>
- Hillerström, D., & Lindley, S. (2016). Liberating effects with rows and handlers. *TyDe 2016: 1st International Workshop on Type-Driven Development*, 15–27. <https://doi.org/10.1145/2976022.2976033>
- Jazayeri, M. (2007). Some trends in web application development. *FoSE 2007: Future of Software Engineering*, 199–213. <https://doi.org/10.1109/FOSE.2007.26>
- Kiffmeier, U., & Beine, M. (s.f.). Block diagram based real-time simulation on a network of Alpha processors and C40 DSPs.
- Klochkov, D., & Mulawka, J. (2021). Improving Ruby on Rails-based web application performance. *Information (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/info12080319>

- Koren, I., & Klamma, R. (2018). The exploitation of OpenAPI documentation for the generation of web frontends. *Proceedings of the ACM*, 781–787. <https://doi.org/10.1145/3184558.3188740>
- Layedra Larrea, N. I. P., Salazar Cazco, S. A., Ramos Valencia, M. I. V., & Baldeón Hermida, B. I. A. (2022). Análisis de los lenguajes de programación más utilizados en el desarrollo de aplicaciones web y móviles. *Revista Científica*, 8(3), 1601–1625.
- Mannisto, J., Tuovinen, A. P., & Raatikainen, M. (2023). Experiences on a frameworkless micro-frontend architecture in a small organization. *ICSA-C 2023: IEEE 20th International Conference on Software Architecture Companion*, 61–67. <https://doi.org/10.1109/ICSA-C57050.2023.00025>
- Manuaba, I. B. P., & Rudiastini, E. (2018). API REST Web service and backend system of Lecturer’s Assessment Information System on Politeknik Negeri Bali. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1), 012069. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012069>
- Mazaheri, A., Schulte, J., Moskewicz, M. W., Wolf, F., & Jannesari, A. (s.f.). Enhancing the programmability and performance portability of GPU tensor operations.
- Membarth, R., Reiche, O., Hannig, F., Teich, J., Korner, M., & Eckert, W. (2016). HIPAcc: A domain-specific language and compiler for image processing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 27(1), 210–224. <https://doi.org/10.1109/TPDS.2015.2394802>
- Mendes, E., & Mosley, N. (2006). *Web engineering*. Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-28218-1>
- Mihaela, M. (2009). Unidad I. 2 Lenguajes de programación 1. Plataforma teórico conceptual. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mishra, D. P., Rout, K. K., & Salkuti, S. R. (2021). Modern tools and current trends in web development. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 24(2), 978–985. <https://doi.org/10.11591/ijeeecs.v24.i2.pp978-985>
- Nagaraj, P., Muneeswaran, V., Pavan Naidu, A. V. S. R., Shanmukh, N., Kumar, P. V., & Satyanarayana, G. S. (2023). Automated E-Commerce price comparison website using PHP, XAMPP, MongoDB, Django, and web scrapping. *ICCCI 2023: Interna-*

- tional Conference on Computer Communication and Informatics, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCCI56745.2023.10128573>
- Naumann, L. F. (2023). WebTensor: Towards high-performance raster data analysis in the browser. *Lecture Notes in Informatics (LNI)*, 1083–1089. <https://doi.org/10.18420/BTW2023-75>
- Nestler, T., Feldmann, M., Hübsch, G., Preußner, A., & Jugel, U. (s.f.). The ServFace Builder: A WYSIWYG approach for building service-based applications.
- Nita, S. L., & Mihailescu, M. (2017). *Practical concurrent Haskell*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2781-7>
- Noskov, A., & Zipf, A. (2018). Back end and front end strategies for deployment of WebGIS services. <https://doi.org/10.1117/12.2322831>
- Ollila, R., Mäkitalo, N., & Mikkonen, T. (2022). Modern web frameworks: A comparison of rendering performance. *Journal of Web Engineering*, 21(3), 789–814. <https://doi.org/10.13052/jwe15>
- Padulano, V. E., Kabadzhov, I. D., Tejedor Saavedra, E., Guiraud, E., & Alonso-Jordá, P. (2023). Leveraging state-of-the-art engines for large-scale data analysis in high energy physics. *Journal of Grid Computing*, 21(1). <https://doi.org/10.1007/s10723-023-09645-2>
- Perez-Riverol, Y., et al. (2019). The PRIDE database and related tools and resources in 2019: Improving support for quantification data. *Nucleic Acids Research*, 47(D1), D442–D450. <https://doi.org/10.1093/nar/gky1106>
- Pierce, M. E., et al. (s.f.). Apache Airavata: Design and directions of a science gateway framework.
- Poller, P., Chikobava, M., Hodges, J., Kritzler, M., Michahelles, F., & Becker, T. (2021). Back-end semantics for multimodal dialog on XR devices. *Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI)*, 75–77. <https://doi.org/10.1145/3397482.3450719>
- Qunaibit, M., Brunthaler, S., Na, Y., Volckaert, S., & Franz, M. (2018). Accelerating dynamically-typed languages on heterogeneous platforms using guards optimization. *Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)*. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.ECOOP.2018.16>
- Rasha, R., Khan, M. M., Masud, M., & Al-Zain, M. A. (2021). Investigain: A productive asset management web application. *Comput-*

- er Systems Science and Engineering, 38(2), 151–164. <https://doi.org/10.32604/CSSE.2021.015314>
- Reddy Lakkireddy, S. N., Thomas, A. A., Shree, T. S., & Mamatha, T. (2022). Web-based application for real-time chatting using Fire-base. IEEE ICKES 2022: International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICKECS56523.2022.10060845>
- Ren, S. Z., Wang, Y. Z., & Wang, T. (s.f.). Design of electric power management system in Jilin Province based on SOA. <https://doi.org/10.1051/01041>
- Rizo Maradiaga, J. (2015). Técnicas de investigación documental. Universidad Autónoma de Nicaragua, 0(0), 131.
- Sharma, T., Gupta, S., & Singh, U. R. (2023). Analyzing the difference between ReactJS and AngularJS. CICTN 2023: International Conference on Computational Intelligence, Communication Technology and Networking, 37–42. <https://doi.org/10.1109/CICTN57981.2023.10141276>
- Showkat, S. (2018). Web development using PHP.
- Spiewak, D., & Zhao, T. (s.f.). ScalaQL: Language-integrated database queries for Scala.
- Tiwari, S. P. (2021). Study and comparative analysis of donation-based websites. 2021 International Conference on Computing Sciences (ICCS), 202–205. <https://doi.org/10.1109/ICCS54944.2021.00047>
- Wittern, E., Cha, A., & Laredo, J. A. (2018). Generating GraphQL-wrappers for REST(-like) APIs. In Lecture Notes in Computer Science, 10845, 66–81. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91662-0_5
- Zhao, J. T., Jing, S. Y., & Jiang, L. Z. (2018). Management of API gateway based on micro-service architecture. Journal of Physics: Conference Series, 1087(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1087/3/032032>

Gamificación y videojuegos colaborativos: estrategias para enseñar programación y competencias transversales

Jhon Alexis Piracoca Arcos¹

RESUMEN

El aprendizaje de la programación y desarrollo de habilidades blandas han sido objeto de estudio para observar cómo los estudiantes se enfrentan a desafíos complejos del mundo real, ahí es donde entra esta investigación que explora el impacto de los videojuegos multijugador en el aprendizaje de estas habilidades en los estudiantes. A través de un enfoque descriptivo, se analizan estudios previos que demuestran cómo los videojuegos, al integrarse de manera estructurada en entornos educativos, pueden potenciar significativamente el rendimiento académico y fortalecer competencias técnicas y sociales. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar videojuegos con objetivos pedagógicos claros y de fomentar un entorno colaborativo que promueva el trabajo en equipo, la comunicación y la toma de decisiones. Para concluir como los videojuegos multijugador, cuando se implementan de manera clara y específica, pueden ser una herramienta poderosa para la educación, transformando la experiencia de aprendizaje y preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos complejos en un mundo cada vez más competitivo.

Palabras clave: aprendizaje, comunicación, educación, programación, videojuegos.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. jhon.piracoca@usantoto.edu.co.

ABSTRACT

Programming learning and soft skills development have been studied to observe how students deal with complex real-world challenges, which is where this research comes in. It explores the impact of multiplayer video games on the learning of these skills in students. Through a descriptive approach, previous studies are analyzed that demonstrate how video games, when integrated in a structured way in educational environments, can significantly enhance academic performance and strengthen technical and social skills. These results underline the importance of selecting video games with clear pedagogical objectives and fostering a collaborative environment that promotes teamwork, communication and decision making. To conclude, multiplayer video games, when implemented in a clear and specific way, can be a powerful tool for education, transforming the learning experience and preparing students to face complex challenges in an increasingly competitive world.

Keywords: communication, education, learning, programming, video games.

INTRODUCCIÓN

Los videojuegos en el entorno educativo ha sido objeto de investigaciones que buscan no solo destacar sus beneficios, sino también comprender los riesgos que conlleva su integración en las aulas. Desde sus inicios, los videojuegos han sido reconocidos por su capacidad para sumergir a los usuarios en experiencias profundas y envolventes, convirtiéndose en herramientas pedagógicas con un potencial inmenso, como lo señala Etxeberría (2001). Sin embargo, este potencial debe manejarse con cuidado. Núñez-Barriopedro et al. (2020) ofrecen una visión equilibrada, subrayando cómo los videojuegos pueden mejorar habilidades cognitivas y sociales, al tiempo que advierten sobre los peligros de su uso inadecuado, como el fomento de hábitos sedentarios o la promoción de conductas antisociales. No obstante, cuando se diseñan con objetivos pedagógicos claros y se integran eficazmente en el plan de estudios, los videojuegos pueden transformar la educación. Estudios recientes han demostrado que los videojuegos multijugador, por ejemplo, no solo hacen que haya mayor interacción y la colaboración entre estudiantes, sino que de igual forma proporcionan un espacio rico para el desarrollo de habilidades de liderazgo y negociación. Estos hallazgos amplían nuestra comprensión de cómo los videojuegos, utilizados estratégicamente pueden enriquecer la experiencia educativa y preparar a los estudiantes para enfrentar desafíos complejos en entornos colaborativos y competitivos, despertando en ellos una pasión por aprender, traspasando las barreras tradicionales del aprendizaje y como el aprendizaje puede impulsarse en entornos formales e informales utilizando videojuegos. Rodríguez-Hoyos y Gomes (2013) ofrecen una visión panorámica que muestra cómo se ha integrado el uso de videojuegos en diversos sistemas educativos internacionales, destacando su flexibilidad y adaptabilidad. Además, la gamificación y los videojuegos multijugador han ganado terreno como herramientas efectivas para el aprendizaje, tanto en contextos educativos como en entornos de desarrollo de habilidades. Núñez-Barriopedro, Sanz-Gómez y Ravina-Ripoll (2020) señalan que la gamificación, al incorporar elementos de juego en entornos educativos, puede motivar a los estudiantes y mejorar su compromiso con el aprendizaje. Esta técnica ha demostrado ser especialmente eficaz en la educación superior, donde el aprendizaje autónomo y la interacción social son claves.

En los últimos años, el auge de los videojuegos ha alcanzado unos niveles que han abierto oportunidades para aplicarse en contextos educativos, más allá de su uso para el entretenimiento, se puede usar para mejorar el aprendizaje y el desarrollo de competencias. Este avance ha dado lugar a la creación de *serious games*, juegos que no solo entretienen, sino que están específicamente diseñados para cumplir objetivos pedagógicos concretos. Fernández Sánchez, Sierra Daza y Hernández Martín (2020) argumentan que estos *serious games*, al estar orientados a la adquisición de competencias profesionales, pueden desempeñar un papel fundamental en el desarrollo social y comunitario. Estos son efectivos porque combinan la dinámica atractiva de los videojuegos con contenidos educativos relevantes, lo que fomenta un aprendizaje activo, donde los estudiantes adquieren conocimientos teóricos y aplican lo aprendido en escenarios prácticos que simulan situaciones del mundo real. Este tipo de aprendizaje comprometido se alinea con las necesidades actuales de la educación, donde se busca no solo impartir conocimientos, sino también desarrollar habilidades prácticas que preparen a los estudiantes para los desafíos del entorno laboral y social.

Los autores Fernández Sánchez, Gonzales y Acevedo (2023) respaldan esta visión, al ofrecer un marco conceptual claro para la pedagogía de los *serious games*. Estos autores subrayan que, cuando los videojuegos se integran adecuadamente en entornos formales de aprendizaje, tienen un inmenso potencial para facilitar no solo la adquisición de conocimientos, sino también el desarrollo de habilidades: como el pensamiento analítico, la toma de decisiones y la resolución de problemas. Este enfoque se distingue por su capacidad para involucrar a los estudiantes que los métodos tradicionales no logran para así motivarlos a participar en su proceso de aprendizaje y a aplicar sus conocimientos en situaciones prácticas. Además, la flexibilidad de los videojuegos permite su adaptación a diversas disciplinas y contextos educativos, desde la formación profesional hasta la educación en áreas como la salud, la ingeniería y las ciencias sociales, lo que amplía su aplicabilidad y relevancia en el panorama educativo actual.

Osorio, Álvarez y Peinado (2018) discuten cómo los videojuegos multijugador retienen a los usuarios a través de motivaciones sociales que también pueden aplicarse al ámbito educativo. La colaboración y competencia en estos juegos pueden trasladarse a entornos académicos para

fomentar el aprendizaje colaborativo y la resolución de problemas en equipo. El autor González e Izquierdo (2011) investigan el uso de videojuegos educativos en el aula, resaltando cómo estos pueden facilitar un aprendizaje colaborativo. Este aspecto es relevante para la implementación de herramientas de gamificación en la educación superior, ya que demuestra cómo la interacción y la colaboración en los videojuegos pueden traducirse en beneficios educativos tangibles. Tenemos que la integración de elementos de gamificación y videojuegos multi-jugador, inspirada por las investigaciones sobre su impacto positivo en el aprendizaje (Córdoba Castrillón y Ospina Moreno, 2019), puede ser una estrategia efectiva para mejorar el compromiso y la adquisición de habilidades colaborativas en estudiantes. Adaptando estas técnicas, los videojuegos diseñados con fines educativos pueden promover el análisis crítico, la resolución de problemas y el trabajo en equipo, al requerir que los estudiantes interactúen y colaboren para superar desafíos complejos.

Por otra parte, la aceptación de los videojuegos en la educación ha ido en aumento, reflejando un cambio significativo en la percepción de estas herramientas por parte de los educadores, tanto en formación como en ejercicio. Este cambio es importante cuando las metodologías de enseñanza tradicionales se cuestionan y adoptan en dar enfoques más interactivos y participativos que ayuden a las nuevas generaciones de estudiantes. Martín Del Pozo, Muñoz Repiso y Martín (2019) realizaron un estudio en el que desarrollaron una escala para medir las actitudes de los profesores hacia el uso de videojuegos para el aprendizaje colaborativo. Los resultados de su investigación revelaron que muchos docentes no solo aceptan, sino que apoyan con entusiasmo la inclusión de videojuegos en el plan de estudios, reconociendo su potencial para transformar la enseñanza y el aprendizaje. Otros estudios como los de Kaimara et al. (2022) han demostrado que los futuros docentes desean adoptar estas herramientas para sus clases. Esto también se puede usar para personalizar el aprendizaje en las aulas y obtener más potencial de ellos, según Nebel et al. (2024) investigan el uso de métodos pedagógicos que se adapten en videojuegos educativos, concluyendo que estos pueden ajustarse al nivel de habilidad y a su vez se proporcionen desafíos que se adaptan a las necesidades específicas del estudiante. Esta opción es vital para entornos educativos, donde se deben considerar los estilos y velocidad de aprendizaje para tener en cuenta y maximizar la efectividad del proceso educativo.

En la educación superior, este tema de la gamificación ha demostrado que puede ser una estrategia innovadora y efectiva para abordar los desafíos que presentan algunas disciplinas complejas, como la Ingeniería de Sistemas y de manera más específica, el aprendizaje de la programación. Estas áreas, complejas de aprender para muchos estudiantes por su nivel de aprendizaje y la necesidad de desarrollar competencias técnicas; se ha encontrado el método de la gamificación como un aliado poderoso para transformar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Muñoz y Gasca (2023) exploran cómo la implementación de técnicas de gamificación en la enseñanza de estándares internacionales de la Ingeniería de Sistemas puede servir para hacer más accesibles estos contenidos complejos y motivar a los estudiantes a involucrarse en su aprendizaje. Al incorporar elementos de juego, como recompensas, niveles, y desafíos, los estudiantes experimentan una forma de aprendizaje que es a la vez desafiante y estimulante, lo que lleva a una mayor participación en las actividades académicas y a una mejora significativa en su rendimiento. Ávila et al. (2023), refuerza esta visión al realizar un análisis exploratorio sobre el uso de la gamificación en la educación de Ingeniería de Sistemas, destacando cómo esta estrategia no solo mejora la motivación de los estudiantes, sino que hay un impacto positivo en su aprendizaje.

La gamificación ha emergido como una estrategia prometedora para abordar los desafíos pedagógicos en la enseñanza de la programación. García y Morales (2020), en su estudio sobre la gamificación en la Ingeniería de Sistemas, destacan cómo esta técnica puede transformar el aprendizaje, al hacer que los estudiantes se sientan más motivados e involucrados en su educación, para así mejorar su comprensión y retención de los contenidos, ya que los hace más atractivos para los estudiantes. Este enfoque es apoyado por Porto et al. (2020), quienes en su mapeo sistemático identifican tanto las iniciativas exitosas como los desafíos asociados con el uso de la gamificación en la Ingeniería de Sistemas. Su investigación destaca que, aunque la gamificación ofrece numerosos beneficios, su éxito depende en gran medida de cómo se diseñe e implemente dentro del plan de estudios. Además, el autor señala que, aunque la gamificación facilita la inducción de estudiantes en la Ingeniería de Sistemas, también hay que abordar los desafíos asociados, como la posible desmotivación si los elementos del videojuego no se alinean con los intereses de los estudiantes o se consideran triviales.

Ruiz, Orta y Gutiérrez (2024) investigaron cómo estos métodos innovadores pueden mejorar significativamente la integración de nuevos ingenieros de sistemas, un proceso que suele ser desafiante por la complejidad y rigor de las disciplinas involucradas. Este estudio muestra que, al aplicar técnicas de gamificación en la etapa de inducción, los estudiantes no solo adquieren más rápidamente las habilidades técnicas necesarias, sino que también desarrollan una mayor confianza en su capacidad para aplicarlas en contextos prácticos, esto a su vez sirve como una herramienta efectiva para mitigar el estrés y la ansiedad que los estudiantes pueden experimentar durante esta etapa crucial de su formación. Junto a esto vienen los avances tecnológicos y con ellos nuevas formas de mejorar la enseñanza con la realidad virtual, esto lo discuten Banić, Konecki y Konecki (2023), donde se está revolucionando la forma en que se aborda la enseñanza de esta disciplina. Con estas tecnologías emergentes están abriendo un abanico de oportunidades para transformar la enseñanza tradicional, a menudo centrada en la teoría y la repetición, en experiencias de aprendizaje más dinámicas, inmersivas e interactivas. Al incorporar la realidad virtual y elementos de gamificación en los programas educativos, los estudiantes experimentan un método de enseñanza que simula el mundo real de la programación, donde las habilidades prácticas y la resolución de problemas en tiempo real son esenciales.

Además, la gamificación no se limita únicamente a la enseñanza de habilidades técnicas; su alcance va mucho más allá, extendiéndose al desarrollo de competencias cognitivas avanzadas, como el pensamiento sistémico. Este tipo de pensamiento es crucial en el mundo actual, donde los problemas que enfrentan los profesionales son cada vez más complejos y multifacéticos. Nordby et al. (2024) destacan cómo la gamificación puede servir como una herramienta poderosa para enseñar a los estudiantes a pensar sistémicamente, a entender y analizar cómo interactúan las partes de un sistema. A través de estos escenarios, los estudiantes no solo aprenden a aplicar conocimientos técnicos, sino que también desarrollan la capacidad de ver más allá de las soluciones inmediatas y considerar su impacto en las decisiones de un contexto más amplio. Emihovich (2024) complementa esta visión al explorar cómo el aprendizaje basado en juegos puede integrarse de manera efectiva, según su investigación, los videojuegos que simulan sistemas complejos ofrecen a los estudiantes un entorno controlado en el que pueden experimentar con diferentes estrategias y observar las consecuencias de sus decisiones en tiempo real, para

así fomentar una mentalidad crítica y reflexiva. Este enfoque no solo enriquece su formación académica, sino que también les proporciona las herramientas necesarias para enfrentarse a problemas complejos en su futuro, preparándolos para desempeñarse en roles de liderazgo y toma de decisiones en un entorno profesional.

METODOLOGÍA

La investigación buscó analizar el impacto de los videojuegos multijugador en el aprendizaje de la programación y el desarrollo de habilidades blandas en entornos educativos, para identificar sus ventajas, bajo un enfoque descriptivo tipo cualitativo a partir del análisis de estudios previos con el fin de interpretar los resultados y extraer conclusiones relevantes.

Con base en lo anterior, se identificó las características e impacto de los videojuegos multijugador y técnicas de gamificación en el aprendizaje de programación. Asimismo, se comparó el desarrollo de habilidades blandas a través de la implementación de videojuegos multijugador y técnicas de gamificación, analizando los desafíos y problemáticas identificadas en investigaciones previas, para finalmente se determinó ventajas de la integración de videojuegos multijugador en entornos educativos y de formación profesional, basadas en el análisis de las experiencias y resultados documentados en la literatura. Para cumplir con estos objetivos, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

Selección de Estudios: Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente, seleccionando estudios que hayan investigado la implementación de videojuegos multijugador en contextos educativos. Con énfasis en aquellos estudios que analizan tanto el rendimiento académico en programación como el desarrollo de habilidades blandas como la colaboración, la comunicación y la autorregulación.

Criterios de Selección: Los estudios seleccionados en la revisión debían cumplir con ciertos criterios:

- Publicación en revistas académicas, bases de datos o conferencias.

- Uso de videojuegos multijugador diseñados o adaptados para fines educativos.
- Evaluación de al menos uno de los siguientes resultados: aprendizaje de programación o desarrollo de habilidades blandas.
- Relevancia y actualidad, con un enfoque en estudios publicados en el siglo XXI.

Revisión Literaria: Los datos se analizaron cualitativamente. Se utilizó un proceso para identificar temas recurrentes en los estudios revisados, como las estrategias de gamificación utilizadas, los resultados obtenidos en términos de aprendizaje, y las metodologías empleadas en cada estudio.

En la Tabla 1 se muestran las cadenas utilizadas en la búsqueda de los estudios, así como el total encontrado y la cantidad que finalmente se seleccionó.

Tabla 1
Cadenas de Búsqueda

Cadena de Búsqueda	Total	Seleccionadas
Gamification and Education	6.503	22
Videogames and Education	778	10
Videogames and Programming and gamification	165	5
Soft skills and gamification	121	5
Soft skills and programing	369	8
Total	7.936	50

Nota. Elaboración propia (2025).

Recopilación de Resultados: Los resultados se adjuntaron en dos categorías principales:

Impacto en el Aprendizaje de Programación: Evaluando cómo la gamificación y los videojuegos multijugador mejoran la comprensión y el rendimiento en programación.

Impacto en Habilidades Blandas: Analizando cómo estos videojuegos contribuyen al desarrollo de habilidades sociales y emocionales esenciales para el trabajo en equipo y la comunicación efectiva.

Interpretación de los Resultados: Finalmente, se interpretaron los hallazgos con el fin de dar una respuesta a los objetivos planteados y así mismo ver como estas herramientas se pueden usar correctamente.

RESULTADOS

Impacto en el Aprendizaje de Programación: Según los autores Maryono et al. (2022), identifican algunas implementaciones de la gamificación en el aprendizaje de la programación, donde se hace un énfasis que al usar este enfoque se logra motivar y atraer a los estudiantes. En los estudios expuestos por el autor, 21 de ellos abordan problemáticas comunes que la mayoría de los estudiantes tienen, como lo son la dificultad de escribir códigos complejos y resolver problemas (Tabla 2). Aunque algunos estudiantes se esfuerzan en aprender estas habilidades y les genera una baja motivación por lo cual se retiran del programa. Donde la gamificación entra como una solución eficaz para este problema mejorando así la participación y el rendimiento de los estudiantes.

Tabla 2
Problemas de aprendizaje de la programación resueltos mediante la implementación de la gamificación

Problema	Implementación	N.º de artículos
Falta de interés	Learning Model (Anaya-Durand & Anaya-Huertas, 2010), Java Hero (Zapušek & Rugeľj, 2013), Kahoot (Ankora et al., 2023)	3

Problema	Implementación	N.º de artículos
Baja motivación	Learning Model (Boote & Beile, 2005; Anaya-Durand & Anaya-Huertas, 2010), Mobile Apps (Domínguez et al., 2013; Marín et al., 2018), CLIS (González & Blanco Izquierdo, 2011), UDPLIER (Gómez-Martín et al., 2012), LMS (Ibáñez et al., 2014), SCoRe (Pedreira et al., 2020)	8
Dificultad para escribir código	WOJ (Boyle et al., 2011), Learning Model (Méndez, 2012)	2
Dificultad en dominar conceptos de programación	Mobile Apps (Domínguez et al., 2013), CLIS (González & Blanco Izquierdo, 2011), BattleWeb (Carreño-León et al., 2018), LMS (Ibáñez et al., 2014), Learning Model (Porto et al., 2020)	5
Proceso de aprendizaje tedioso	Mobile Apps (Domínguez et al., 2013), CLIS (González & Blanco Izquierdo, 2011), TED (Fernández Sánchez et al., 2020)	4
Dificultad en habilidades de apoyo	Mobile Apps (Domínguez et al., 2013), Learn Your Way Out (Ibáñez et al., 2014)	2
Recursos limitados de aprendizaje	Mobile Apps (Marín et al., 2018)	1
Baja participación	Learning Model (Boote & Beile, 2005), Grasshopper (Kaimara et al., 2022), LMS (Ibáñez et al., 2014), Mobile Apps (Domínguez et al., 2013), Moodle (Muñoz & Gasca-Hurtado, 2023), SCoRe (Pedreira et al., 2020)	6
Falta de entrega de tareas	RunCode (Zhan et al., 2022)	1
Percepción de dificultad en la asignatura	Learning Model (Anaya-Durand & Anaya-Huertas, 2010), Learn Your Way Out (Ibáñez et al., 2014), Daily Mission (Maryono et al., 2022)	3

Nota: Esta tabla resume los diversos problemas que ocurren con frecuencia en el aprendizaje de la programación y el uso de la gamificación como solución a estos problemas y fue extraída de la investigación de los autores Maryono et al. (2022).

IMPACTO EN LAS HABILIDADES BLANDAS

Diferentes estudios revelan que los videojuegos funcionan como herramienta de entretenimiento y tienen un papel importante en el desarrollo de habilidades blandas como la colaboración y la comunicación. Según Gonzales e Izquierdo (2011), el uso de videojuegos con fines educativos mejora socialmente habilidades colaborativas entre estudiantes.

Además, la investigación de Negrón et al. (2023), nos ofrece un análisis importante desde una perspectiva que es la del diseño de los videojuegos, donde se busca ser un instrumento crucial para mejorar habilidades blandas. También los autores destacan que diseñar un videojuego permite a los participantes reflexionar sobre sus habilidades de trabajo en equipo, resolución de problemas y pensamiento crítico, lo que lleva a una mejora visible en estas áreas. Adicional a esto se menciona sobre las habilidades en relación con el comportamiento del jugador, donde se dice que los videojuegos con componentes de chat o comunicación en tiempo real permiten a los jugadores practicar la comunicación efectiva en un entorno dinámico.

En un estudio adicional, Nietfeld, Shores y Hoffmann (2014), examinan la relación entre la autorregulación y el género en un entorno de aprendizaje basado en videojuegos. Sus hallazgos muestran que los videojuegos funcionan como plataformas de autorregulación, habilidad blanda clave que tiene un impacto directo en el ámbito académico y profesional. Por otro lado, Burn (2021), expone la interrelación entre la literatura y los videojuegos, con un enfoque en el ámbito educativo los cuales funcionan como una extensión moderna de las narrativas tradicionales facilitando un aprendizaje inmersivo y generando un pensamiento crítico que genera una reflexión, similar a un análisis literario. Además, los videojuegos permiten una personalización del ritmo y estilo de aprendizaje, lo que beneficia a estudiantes con diferentes necesidades y estilos cognitivos.

Finalmente, la revisión de Sierra Daza, Martín Del Pozo y Fernández Sánchez (2023), analiza investigaciones sobre el uso de videojuegos en la educación superior, donde concluye que existe una relación positiva entre el uso de videojuegos y el desarrollo de habilidades blandas en los universitarios. Esta revisión destaca que los videojuegos son herra-

mientas poderosas para preparar a los estudiantes para los desafíos del mundo real al mejorar sus habilidades sociales y emocionales.

Integración de Videojuegos en Entornos Educativos

En el contexto de la educación superior Azabache Caracciolo (2010), discute de como los videojuegos han sido integrados a nivel educativos para abordar desafíos en el aprendizaje. El autor argumenta que los videojuegos permiten a los estudiantes universitarios experimentar y aplicar conocimientos en un entorno controlado, lo que facilita un aprendizaje más profundo, esto también permite interactuar con los contenidos de manera dinámica y envolvente. Según Blanco (2012), el uso de videojuegos como material educativo, demuestra como estos pueden transformar conceptos abstractos en experiencias tangibles. A través de la de la narrativa del videojuego, los estudiantes no solo adquieren conocimientos, sino que también desarrollan habilidades cognitivas complejas como la resolución de problemas y el pensamiento crítico.

Un trabajo que destaca los principales valores adquiridos en el ámbito educativo a partir de la participación en videojuegos es el de Attewell y Savill-Smith (2003). La Tabla 3 resume los hallazgos encontrados por los autores mencionados.

Tabla 3
Características de cómo los videojuegos contribu en a la adquisición de aprendizaje de los usuarios

Características del juego	Valores adquiridos
Diversión	Satisfacción
Jugar	Inmersión
Normas y reglas	Estructura
Metas y objetivos	Motivación
Interacción con el juego	Saber hacer
Reciprocidad	Aprendizaje con respuesta inmediata
Adaptación	Carácter abierto

Características del juego	Valores adquiridos
Ganar la partida	Gratificación del ego, auto-superación
Competitividad, obstáculos	Adrenalina
Resolver problemas	Fomento de la creatividad
Interacción social	Aprendizaje social
Narratividad	Emociones

Nota. Datos tomados de la investigación de Attewell y Savill-Smith (2003).

Montero Pascual, Ruiz Dávila, y Díaz Tejero (2011), nos muestran este enfoque que promueve una doble cognición, donde el estudiante no solo aprende los contenidos explícitos, sino también los implícitos, como las consecuencias de sus decisiones en un entorno controlado. Este tipo de aprendizaje situacional, argumentan los autores, es esencial para desarrollar competencias críticas en los estudiantes, como la capacidad de adaptación y la toma de decisiones.

Impacto de la Gamificación en la Enseñanza: Análisis de Desafíos

La revisión y el análisis de los artículos expuestos en la Tabla 4 revela varios resultados clave sobre la implementación de la gamificación en la enseñanza:

Tabla 4
Resultados de la Implementación de la gamificación

Resultado	Detalles
Aumento de la Motivación y Compromiso de los Estudiantes	En todos los estudios analizados, se observa consistentemente que la gamificación ha sido efectiva para aumentar tanto la motivación como el compromiso de los estudiantes. Esto se ve reflejado en las actividades de aprendizaje y una mayor retención de los contenidos abordados en las asignaturas de Ingeniería de Sistemas.

Resultado	Detalles
Mejora en la Calidad del Aprendizaje	Los artículos indican que los estudiantes sometidos a métodos de enseñanza no solo disfrutaban más del proceso de aprendizaje, sino que también muestran una mejor comprensión y retención de los conceptos clave.
Reducción del Abandono del Programa	Un aspecto relevante es la reducción en las tasas de abandono en los cursos de Ingeniería de Sistemas cuando se implementa de manera adecuada la gamificación. Esto es un impacto positivo para que los estudiantes no dejen de estudiar la programación.
Facilidad en la Comprensión de Conceptos	La gamificación ha sido muy útil para enseñar conceptos relacionados con la programación y estándares internacionales, donde los estudiantes muestran una mejor capacidad para aprender y aplicarlos en situaciones prácticas.
Desarrollo de Habilidades Cognitivas y de Resolución de Problemas	La incorporación de videojuegos y otros elementos de la gamificación ha contribuido al desarrollo de habilidades blandas, el pensamiento algorítmico y la resolución de problemas, habilidades esenciales en la formación de ingenieros de sistemas.

Nota. Elaboración propia (2025).

Tras analizar la tabla anterior la cual nos muestra los beneficios de la gamificación como son la motivación, mejora del aprendizaje, reducción del abandono y comprensión de conceptos se puede observar que estas mejoras están presentes de manera consistente en los estudios revisados donde la gamificación ha demostrado ser una estrategia eficaz en la educación, particularmente en la enseñanza de programación y habilidades blandas.

A continuación, en la Tabla 5 se presenta un análisis donde se especifican los desafíos que se encuentran al implementar la gamificación en el contexto de la educación. Estos desafíos los debemos tener en cuenta para que en el momento de diseñar e implementar estas estrategias pedagógicas sean efectivas.

Tabla 5
Problemáticas de los diferentes artículos analizados y habilidades en las que se hace énfasis

ID	Artículo	Año	Habilidades Exploradas	Problemática
1	Gamificación para atender los desafíos de la enseñanza ingeniería de software en instituciones de educación superior. (Muñoz, M., & Gasca-Hurtado, G. P, 2023)	2023	Trabajo en equipo, resolución de problemas y motivación	Desafíos en la enseñanza de estándares internacionales de Ingeniería de Sistemas, incluyendo la falta de motivación y comprensión entre los estudiantes.
2	The Role of Gamification Implementation in Improving Quality and Intention in Software Engineering Learning. (Wahyuningsih, T., Sediyono, E., Hartomo, K. D., & Sembiring, I, 2024)	2024	Motivación, colaboración y mejora del aprendizaje	Dificultades en mejorar la calidad del aprendizaje y la intención de aprender en los estudiantes de Ingeniería de Sistemas.
3	An Architecture for Software Engineering Gamification. (Pedreira, Ó., García, F, García, F, & Piattini, M, 2020).	2020	Colaboración y trabajo en equipo	Necesidad de una estructura modular que permita la implementación efectiva de gamificación en cursos de Ingeniería de Sistemas.
4	Learning Programming with Serious Games. (Zapušek, M., & Rugelj, J, 2013)	2013	Comprensión de la lógica de programación, pensamiento algorítmico y resolución de problemas	Complejidad en los conceptos de programación y las dificultades que enfrentan los estudiantes para entender y aplicar estos conceptos.

ID	Artículo	Año	Habilidades Exploradas	Problemática
5	Gamification in Education: A Systematic Mapping Study. (Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G, 2015)	2015	Motivación, compromiso estudiantil, retención del conocimiento y resolución de problemas	Exploración sistemática de la implementación de gamificación en la educación, incluyendo su impacto en la motivación y el compromiso estudiantil.
6	Aprendizaje Basado En Juegos. (Gómez-Martín, Marco A., Pedro P. Gómez-Martín, y Pedro A. González-Calero, 2012).	2012	Aprendizaje a través del juego, pensamiento crítico, colaboración	Análisis sobre el uso de juegos en el aula y su impacto en la motivación y el aprendizaje activo de los estudiantes.
7	La deserción estudiantil en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de la Amazonia. (Sánchez Castillo, V., Gómez Cano, C. A., & Gaviria Alvarado, M. A, 2017).	2017	Motivación estudiantil, retención académica, estrategias de aprendizaje	Problemas relacionados con la alta tasa de deserción estudiantil en el programa de Ingeniería de Sistemas, con un enfoque en las causas y estrategias para mejorar la retención.
8	Learn by Playing: Plataforma interactiva para la formación virtual por medio de la gamificación. (Monroy Barrera, D. A, 2018).	2018	Gamificación, aprendizaje interactivo, motivación extrínseca	Desarrollo de una plataforma gamificada para la formación virtual, con el objetivo de mejorar la participación y el interés de los estudiantes.
9	Programación (Informática): Qué es, información, lenguajes. (Equipo editorial, Etecé, 2023).	2023	Comprensión de lenguajes de programación, habilidades técnicas, pensamiento lógico	Explicación y descripción general de la programación, abordando los lenguajes más utilizados y los conceptos fundamentales.

ID	Artículo	Año	Habilidades Exploradas	Problemática
10	Scholars before researchers: On the centrality of the dissertation literature review in research preparation. (Boote, D. N., & Beile, P, 2005).	2005	Investigación y habilidades críticas	Importancia de la revisión de literatura para la preparación y éxito de la investigación académica.
11	The role of psychology in understanding the impact of computer games. (Boyle, E., Connolly, T. M., & Hainey, T, 2011).	2011	Comprensión del comportamiento, motivación, aprendizaje a través de videojuegos	Exploración psicológica de cómo los videojuegos influyen en la motivación y el comportamiento de los estudiantes, y su papel en el aprendizaje.
12	¿Motivar para aprobar o para aprender? Estrategias de motivación del aprendizaje para los estudiantes. (Anaya-Durand, A., & Anaya-Huertas, C, 2010).	2010	Motivación, estrategias de aprendizaje y habilidades blandas	Debate sobre la motivación de los estudiantes: motivación para aprobar exámenes vs. motivación para aprender de manera efectiva.
13	The impact of emotions on learning and achievement: Towards a theory of cognitive/ motivational mediators. (Pekrun, R, 1992).	1992	Motivación y habilidades cognitivas	Estudio sobre cómo las emociones influyen en el aprendizaje y el rendimiento académico, y cómo los mediadores cognitivos y motivacionales impactan el logro educativo.
14	Examining students' academic motivation for studying programming languages. (Ankora, et.al, 2023).	2023	Motivación, habilidades, técnicas y programación	Análisis sobre la motivación académica de los estudiantes para aprender lenguajes de programación, centrándose en los factores que impulsan el interés y el éxito.

ID	Artículo	Año	Habilidades Exploradas	Problemática
15	Gamifying Learning Experiences: Practical Implications and Outcomes. (Domínguez, et al, 2013).	2013	Compromiso y motivación	Estudio sobre los resultados prácticos de gamificar experiencias de aprendizaje, centrándose en cómo la gamificación afecta el compromiso y los resultados educativos de los estudiantes.
16	Play as You Learn: Gamification as a Technique for Motivating Learners. (Glover, Ian, and Ian Glover, 2013).	2013	Motivación y aprendizaje activo	Examen de la gamificación como una técnica efectiva para motivar a los estudiantes a través del juego y el aprendizaje activo.
17	Experiencias Didácticas Con Videojuegos Comerciales En Las Aulas Españolas. (Gómez, et. al, 2016).	2016	Aprendizaje activo y motivación	Informe sobre el uso de videojuegos comerciales en aulas españolas para mejorar la motivación y el aprendizaje de los estudiantes en diversas áreas.
18	Gamification for Engaging Computer Science Students in Learning Activities. (Ibáñez, et. al, 2014).	2014	Compromiso, motivación, programación.	Estudio de caso sobre cómo la gamificación puede mejorar el compromiso y el interés de los estudiantes de ciencias de la computación en actividades de aprendizaje.

ID	Artículo	Año	Habilidades Exploradas	Problemática
19	Retos y posibilidades de la Introducción de Videojuegos en el Aula. (Méndez, 2012).	2012	Motivación y innovación	Análisis sobre los retos y las posibilidades de introducir videojuegos en el aula, centrándose en cómo se puede mejorar la motivación y la innovación educativa.
20	Harnessing the Power of Games in Education. (Squire. K. and Henry J. 2003).	2003	Motivación e innovación con el uso de videojuegos	Examen de cómo aprovechar el poder de los videojuegos para mejorar la educación y aumentar el compromiso y la motivación de los estudiantes.
21	The Model for Introduction of Gamification into e-Learning in Higher Education. (Urh M. et. al, 2015)	2015	Aprendizaje activo	Propuesta de un modelo para introducir la gamificación en el aprendizaje electrónico en educación superior, mejorando la participación y los resultados de los estudiantes.
22	The effectiveness of gamification in programming education: Evidence from a meta-analysis. (Zhan, Z, et. al, 2022).	2022	Motivación en la programación, habilidades técnicas y resolución de problemas	Análisis sobre la efectividad de la gamificación en la enseñanza de programación, destacando su impacto positivo en la motivación, el compromiso y el rendimiento de los estudiantes.

ID	Artículo	Año	Habilidades Exploradas	Problemática
23	Gamification technique for teaching programming. (Carreño-León, M, et. al, 2018).	2018	Lógica de programación, motivación y resolución de problemas	Estudio sobre el uso de técnicas de gamificación para la enseñanza de la programación, enfocándose en mejorar la motivación y el compromiso de los estudiantes a través de elementos lúdicos.
24	Gamification in STEM programming courses: State of the art. (Venter, M. 2020).	2020	Pensamiento lógico, resolución de problemas y retención de conceptos	Revisión sobre gamificación en cursos de programación STEM, destacando avances y desafíos en el uso de gamificación para mejorar la enseñanza y la motivación en estas áreas.
25	An empirical investigation on the benefits of gamification in programming courses. (Marín, B., et. al, 2018).	2018	Motivación, programación, resolución de problemas y retención del conocimiento	Una investigación empírica sobre los beneficios de la gamificación en cursos de programación, destacando su impacto positivo en la motivación, el rendimiento y la retención de conocimientos por parte de los estudiantes.

Nota. Elaboración propia (2025).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mencionan que la gamificación es una herramienta valiosa en la educación de Ingeniería de Sistemas, con beneficios que van más allá de la simple motivación a los estudiantes. Al implementar la gamificación en estos contextos educativos se ha demostrado que no solo se mejora el compromiso y la motivación, sino también elevar la calidad del aprendizaje y facilitar la comprensión de conceptos complejos.

Motivación y Compromiso como Factores Clave: La motivación otorgada por la gamificación es un factor determinante en el éxito académico. Los elementos de juego hacen que el aprendizaje sea más interactivo y atractivo, fomentando un mayor compromiso de los estudiantes, lo que resulta en una mejor retención y aplicación del conocimiento.

Calidad del Aprendizaje y Gamificación: La calidad del aprendizaje se ve mejorada por la gamificación, no solo porque los estudiantes disfrutan más del proceso educativo, sino también porque los elementos de juego que estructuran el aprendizaje de una manera más sencilla para su comprensión y la aplicación práctica. Esto es crucial en disciplinas como la Ingeniería de Sistemas, donde la aplicabilidad del conocimiento es fundamental.

Reducción de la Deserción: La reducción en las tasas de abandono refleja que la gamificación puede proporcionar un entorno de aprendizaje más accesible y menos intimidante, apoyando a los estudiantes a lo largo de su trayecto académico. Este hallazgo sugiere que la gamificación podría ser una estrategia efectiva para reducir la deserción en otros campos de estudio con alta dificultad.

Comprensión de Conceptos: La gamificación facilita la enseñanza de conceptos complejos, transformando la forma en que los estudiantes interactúan con temas difíciles. Al usar elementos de juego para visualizar y simular estos conceptos, los estudiantes pueden desarrollar una comprensión más profunda y duradera.

Desarrollo de Habilidades Cognitivas: Además del contenido académico, la gamificación promueve el desarrollo de habilidades cognitivas críti-

cas que son esenciales para el éxito en la Ingeniería de Sistemas. Esto incluye habilidades como la resolución de problemas y el pensamiento crítico, que son fundamentales para abordar los desafíos complejos que se presentan en esta disciplina.

Al usar estos elementos de los videojuegos para la enseñanza de la programación y habilidades blandas, cómo trabajar en equipo ha sido una medida inteligente para abordar las partes difíciles de estas materias. Donde los resultados muestran que los estudiantes se interesan más en sus estudios, tienen un mejor aprendizaje y son menos los que abandonan el programa. Usar la gamificación ayuda a mejorar el pensamiento y las habilidades de resolución de problemas, mostrando su capacidad para mejorar la educación a la vez que hace un aprendizaje divertido y nuevo para abordar mejor los problemas de aprendizaje.

CONCLUSIONES

La investigación demuestra que los videojuegos multijugador, al usarse en el plan de estudios, estos tienen un impacto positivo que afectan al rendimiento académico y la comprensión de conceptos comunes que resultan complejos en los estudiantes de programación. Al ofrecer un entorno pedagógico valioso para desarrollar competencias técnicas y sociales en estudiantes, solo no logran una mayor retención de los conceptos, sino que también profundizan más en temas complejos para mejorar. Esta mejora se le puede atribuir al uso de herramientas lúdicas que facilitan la visualización e interacción de conceptos para un aprendizaje más dinámico e inmersivo, donde se observa que al usar estas herramientas no solo aumentan la motivación de los estudiantes, sino que también se incentiva el compromiso, la participación y la colaboración; habilidades clave que son necesarias en nuestra labor como ingenieros.

El estudio nos evidencia un fortalecimiento notable sobre las habilidades blandas en los estudiantes, como el trabajo en equipo, la comunicación y la gestión de proyectos. Donde en diferentes investigaciones se observa cómo los estudiantes colaboran en entornos virtuales para resolver desafíos y alcanzar objetivos comunes, mejorando así sus capacidades de coordinación y planificación habilidades que son fundamentales para su futura aplicación en entornos laborales, donde trabajar en equipo y

gestionar proyectos resulta crucial en el ejercicio de nuestra profesión. Esto se ve reforzado por los resultados donde los videojuegos multijugador en conjunto con la gamificación son herramientas pedagógicas potentes que permiten preparar a los estudiantes para el mundo laboral donde en este se debe ser colaborativo y comunicativo con el equipo.

Se establecen ventajas de los videojuegos y técnicas de gamificación para los entornos educativos. Estas se alinean con los objetivos pedagógicos del plan de estudios y que el contenido sea acorde a estos, también que sean adecuados al nivel de complejidad de los contenidos académicos del estudiante y la inclusión de elementos que sirven para fomentar la motivación y el aprendizaje activo. Donde se hace un énfasis en la necesidad de supervisar el uso de estos videojuegos para minimizar riesgos, como por ejemplo el exceso de tiempo en pantalla o la falta de orientación pedagógica. Al aplicar estos criterios permite maximizar los beneficios de la gamificación, asegurando que los materiales utilizados sean efectivos y contribuyan al aprendizaje de una manera significativa y adecuada para los estudiantes.

REFERENCIAS

- Anaya-Durand, A., & Anaya-Huertas, C. (2010). ¿Motivar para aprobar o para aprender? Estrategias de motivación del aprendizaje para los estudiantes. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 5–14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094002>
- Ankora, C., Bolatimi, S. O., Bensah, L., Mahama, F., Kuadey, N. A., Adu, A. S. Y., & Adjei, L. (2023). Examining students' academic motivation for studying programming languages. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(6), 2025–2034. <https://doi.org/10.1111/jcal.12862>
- Azabache-Caracciolo, H. (2010). Videojuegos en la educación superior. VI Congreso.
- Banic, B., Konecki, M., & Konecki, M. (2023). Gamification and virtual reality in programming education. <https://doi.org/10.1109/icit59358.2023.10424209>
- Barriopedro, E. N., Sanz Gómez, Y., & Ravina Ripoll, R. (2020). Los videojuegos en la educación: Beneficios y perjuicios. <https://doi.org/10.15359/ree.24-2.12>

- Boote, D. N., & Beile, P. (2005). Scholars before researchers: On the centrality of the dissertation literature review in research preparation. *Educational Researcher*, 34(6), 3–15. <https://doi.org/10.3102/0013189x034006003>
- Boyle, E., Connolly, T. M., & Hailey, T. (2011). The role of psychology in understanding the impact of computer games. *Entertainment Computing*, 2(2), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2010.12.002>
- Burn, A. (2021). Literature, videogames and learning. <https://doi.org/10.4324/9781003025597>
- Carreño-León, M., Sandoval-Bringas, A., Álvarez-Rodríguez, F., & Camacho-González, Y. (2018, April). Gamification technique for teaching programming. In 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 2009–2014). IEEE.
- Córdoba Castrillón, M. M., & Ospina Moreno, J. (2019). Los videojuegos en el proceso de aprendizaje de los niños de preescolar. <https://doi.org/10.15332/25005421.5010>
- Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study.
- Domínguez, A., Saenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J. J. (2013). Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. *Computers & Education*, 63, 380–392. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020>
- Emihovich, B. (2023). Game-based learning and systems thinking: An innovative instructional approach for the 21st century. <https://doi.org/10.1007/s11528-023-00915-0>
- Equipo editorial, Etecé. (2023). Programación (Informática) - Qué es, información, lenguajes. Concepto. <https://concepto.de/programacion/>
- Fernández Sánchez, M. R., González-Fernández, A., & Acevedo-Borrega, J. (2023). Conceptual approach to the pedagogy of serious games. <https://doi.org/10.3390/info14020132>
- Fernández Sánchez, M. R., Sierra-Daza, M. C., & Hernández Martín, A. (2020). Serious games para la adquisición de competencias profesionales para el desarrollo social y comunitario. <https://revistaprismasocial.es/article/view/3746>

- García-Mireles, G. A., & Morales-Trujillo, M. E. (2019). Gamification in software engineering: A tertiary study. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33547-2_10
- Glover, I. (2013). Play as you learn: Gamification as a technique for motivating learners.
- Gómez, S. V., López Gómez, S., & Rodríguez Rodríguez, J. (2016). Experiencias didácticas con videojuegos comerciales en las aulas españolas.
- Gómez-Martín, M. A., Gómez-Martín, P. P., & González-Calero, P. A. (2012). Aprendizaje basado en juegos. *ICONO 14, Revista científica de Comunicación y Tecnologías Emergentes*, 2(2), 1–13. <https://doi.org/10.7195/ri14.v2i2.436>
- González, C. S., & Blanco Izquierdo, F. (2011). Videojuegos educativos sociales en el aula. <https://doi.org/10.7195/ri14.v9i2.46>
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., & Delgado-Kloos, C. (2014). Gamification for engaging computer science students in learning activities: A case study. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(3), 291–301. <https://doi.org/10.1109/tlt.2014.2329293>
- Kaimara, P., Fokides, E., Oikonomou, A., & Deliyannis, I. (2022). Pre-service teachers' views about the use of digital educational games for collaborative learning. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10820-9>
- Mainer Blanco, B. (2012). El videojuego como material educativo: La Odisea. <https://doi.org/10.7195/ri14.v4i1.397>
- Marín, B., Frez, J., Cruz-Lemus, J., & Genero, M. (2018). An empirical investigation on the benefits of gamification in programming courses. *ACM Transactions on Computing Education*, 19(1), 1–22.
- Martín del Pozo, M. M., García-Valcárcel Muñoz-Repiso, A., & Hernández Martín, A. (2019). Video games and collaborative learning in education? A scale for measuring in-service teachers' attitudes towards collaborative learning with video games. <https://doi.org/10.3390/informatics6030030>
- Maryono, D., Budiyono, B., Sajidan, & Akhyar, M. (2022). Implementation of gamification in programming learning: Literature review. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.12.1771>
- Méndez, M. R. (2012). Retos y posibilidades de la introducción de videojuegos en el aula.

- Monroy Barrera, D. A. (2018). Learn by Playing: Plataforma interactiva para la formación virtual por medio de la gamificación. *Tecnología Investigación y Academia*, 6(1), 84–88. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/8762>
- Muñoz, M., & Gasca-Hurtado, G. P. (2023). Gamificación para atender los desafíos de la enseñanza ingeniería de software en instituciones de educación superior. <https://doi.org/10.17013/risti.49.5-21>
- Nebel, S., Beege, M., Schneider, S., & Rey, G. D. (2024). The learning adversary: An experimental investigation of adaptive pedagogical agents as opponents in educational videogames. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102425>
- Nietfeld, J. L., Shores, L. R., & Hoffmann, K. F. (2014). Self-regulation and gender within a game-based learning environment. <https://doi.org/10.1037/a0037116>
- Nordby, A., Vibeto, H., Mobbs, S., & Sverdrup, H. U. (2024). System thinking in gamification. <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02579-2>
- Osório, J., Álvarez, N., & Peinado, F. (2018). La retención de usuarios en los videojuegos con multijugador masivo: Una analogía entre las motivaciones sociales que influyen en el ámbito lúdico y educativo. <https://doi.org/10.5209/ciyc.60687>
- Peña Pérez Negrón, A., Bonilla Carranza, D., Muñoz, M., & Pérez Aguilar, R. A. (2023). Diseño de videojuegos para el análisis de habilidades personales. <https://doi.org/10.17013/risti.49.22-36>
- Pekrun, R. (1992). The impact of emotions on learning and achievement: Towards a theory of cognitive/motivational mediators. *Applied Psychology: An International Review*, 41(4), 359–376. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.1992.tb00712.x>
- Pedreira, Ó., García, F., & Piattini, M. (2020). An architecture for software engineering gamification. <https://doi.org/10.26599/tst.2020.9010004>
- Porto, D. P., Martins de Jesus, G., Ferrari, F. C., & Fabbri, S. (2020). Initiatives and challenges of using gamification in software engineering: A systematic mapping. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110870>
- Rodríguez-Hoyos, C., & Gomes, M. J. (2013). Videojuegos y educación: Una visión panorámica de las investigaciones desarrolladas a nivel internacional.

- Ruiz, M., Orta, E., & Gutiérrez, J. (2024). A gamification method for improving the onboarding process of software engineers. <https://doi.org/10.1109/mitp.2024.3374129>
- Ruiz Dávila, M., & Díaz Tejero, B. (2010). Aprendiendo con videojuegos: Jugar es pensar dos veces.
- Sánchez Castillo, V., Gómez Cano, C. A., & Gaviria Alvarado, M. A. (2017). La deserción estudiantil en el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de la Amazonia (2012-I - 2015-I): Una lectura institucional y antropológica del asunto. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 4(2), 52. <https://doi.org/10.17081/invinno.4.2.2489>
- Sierra-Daza, M. C., Martín del Pozo, M. M., & Fernández Sánchez, M. R. (2023). Videojuegos para el desarrollo de competencias en educación superior. <https://doi.org/10.12795/revistafuentes.2023.22687>
- Squire, K., & Jenkins, H. (2003). Harnessing the power of games in education.
- Urh, M., Vukovič, G., Jereb, E., & Pintar, R. (2015). The model for introduction of gamification into e-learning in higher education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 186, 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.154>
- Venter, M. (2020, April). Gamification in STEM programming courses: State of the art. In 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 859–866). IEEE.
- Wahyuningsih, T., Sediyo, E., Hartomo, K. D., & Sembiring, I. (2024). The role of gamification implementation in improving quality and intention in software engineering learning. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v18i1.20823>
- Zalbide Etxeberria, X., & Etxeberria, F. (1998). Videojuegos y educación.
- Zapušek, M., & Rugelj, J. (2013). Learning programming with serious games. <https://doi.org/10.4108/trans.gbl.01-06.2013.e6>
- Zhan, Z., He, L., Tong, Y., Liang, X., Guo, S., & Lan, X. (2022). The effectiveness of gamification in programming education: Evidence from a meta-analysis. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100096.

Diseño de microservicios basado en arquitectura hexagonal: aplicación en la formación de ingenieros de sistemas

Santiago Hernández Molina¹

RESUMEN

La construcción de grandes sistemas de información y el crecimiento de los equipos de desarrollo han evolucionado la manera en que se estructura el software. Una de las opciones para estructurar dichos sistemas es la arquitectura de microservicios. Sin embargo, debido a la cantidad de conceptos, tecnologías y perfiles que se han generado para administrar estos sistemas (Özkan et al., 2023; Faustino et al., 2024), el propósito de este artículo consiste en brindar a los estudiantes que tengan conocimientos básicos de diseño de software los principios que aborda la arquitectura de microservicios (MSA), utilizando las capas que propone la arquitectura hexagonal para identificar las responsabilidades de cada componente del sistema. Para ello, se realizó un estado del arte con un enfoque cualitativo, haciendo uso de bases de datos en línea como Scopus, Elsevier e IEEEExplore. En la literatura se encontró que, a pesar de la falta de evidencia empírica respecto a la implementación de la arquitectura hexagonal y microservicios, los artículos sobre *Domain-Driven Design* establecen una relación entre estas dos arquitecturas, ofreciendo ventajas en la identificación de módulos alineados con la lógica de negocio de la aplicación. Sin embargo, también se observó que el uso de una arquitectura de microservicios no siempre es la mejor elección, dado que en algunos contextos un monolito ofrece mejores resultados tanto en desempeño como en tiempos de desarrollo.

Palabras clave: Arquitectura hexagonal, Arquitectura de microservicios, Diseño de software, Domain-Driven Design, Revisión de literatura.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. santiago.hernandez@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con el PhD. Juan Francisco Mendoza Moreno.

ABSTRACT

The development of large information systems and the growth of development teams have evolved the way software is structured. One of the options for structuring such systems is microservices architecture. However, due to the number of concepts, technologies, and roles that have been generated to manage these systems (Özkan, Babur, & Van Den Brand, 2023; Faustino, Gonçalves, Portela, & Rito Silva, 2024), the purpose of this article is to provide students with basic knowledge of software design with the principles addressed by microservices architecture (MSA), using the layers proposed by hexagonal architecture to identify the responsibilities of each system component. To achieve this, a state-of-the-art review was conducted with a qualitative approach, using online databases such as Scopus, Elsevier, and IEEE Xplore. The literature revealed that, despite the lack of empirical evidence regarding the implementation of hexagonal architecture and microservices, articles on Domain-Driven Design establish a relationship between these two architectures, offering advantages in the identification of modules aligned with the business logic of the application. However, it was also noted that using a microservices architecture is not always the best choice, as in some contexts a monolith offers better results in both performance and development time.

Keywords: Domain-Driven Design, Hexagonal architecture, Literature review, Microservices architecture, Software design.

INTRODUCCIÓN

Con la construcción de grandes sistemas de información y el crecimiento de los equipos de desarrollo ha evolucionado la manera como se estructura el software en las empresas. Además, factores como la escalabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (Blinowski, Ojdowska, & Przybyłek, 2022), han generado debate respecto a las opciones que tienen los desarrolladores al momento de construir sus aplicaciones (Valdivia, Limón, & Cortes-Verdin, 2019). Una de estas opciones es la arquitectura de microservicios, dicha arquitectura propone desacoplar aplicaciones grandes en pequeños sistemas independientes (Salii, Ajdari, & Zenuni, 2023), además, diversos artículos ya han propuesto metodologías para posibles migraciones desde una arquitectura monolítica (Auer et al., 2021; Correia & Rito Silva, 2022).

Sin embargo, para implementar una arquitectura de microservicios es importante considerar los beneficios, desventajas y buenas prácticas al momento de su desarrollo (Soldani, Tamburri, & Van Den Heuvel, 2018). Además, debido a la cantidad de conceptos, tecnologías y perfiles que se han generado para administrar estos sistemas (Özkan, Babur, & Van Den Brand, 2023; Faustino, Gonçalves, Portela, & Rito Silva, 2024), se busca que mediante este artículo, brindar a los estudiantes que tengan conocimientos básicos de diseño de software los principios que aborda la arquitectura de microservicios (MSA), utilizando para ello las capas que propone la arquitectura hexagonal para identificar las responsabilidades de cada componente del sistema, facilitando su construcción.

A continuación, en la Tabla 1 se presentan las preguntas que tienen el objetivo de guiar el artículo:

Tabla 1
Preguntas de Investigación

Código	Pregunta
PR 1	¿Cuáles son las ventajas de utilizar una arquitectura de microservicios en comparación con una arquitectura monolítica?
PR 2	¿Qué buenas prácticas son recomendadas en la construcción de microservicios?

Código	Pregunta
PR 3	¿Se puede usar un enfoque de Arquitectura Hexagonal para la creación de microservicios?

Nota. Elaboración propia (2025).

Microservicios y Monolitos

Es una arquitectura compuesta por múltiples servicios funcionales simples y especializados, en esta arquitectura cada servicio corre de manera independiente (Zeng et al., 2022). Estos pueden ser escritos en diferentes lenguajes de programación, además de ser descentralizados y requerir un mecanismo de comunicación explícito. Algunas de sus aplicaciones se pueden observar en los campos de *Machine Learning*, *Internet of Things*, *Blockchain*, *Cloud Robotics*, entre otros (Nupura & Pravins, 2019). Gran parte de estas aplicaciones se debe a la capacidad que tienen los microservicios para escalar con la gran cantidad de datos que se manejan actualmente. Por su parte, el monolito es un modelo de arquitectura tradicional en la cual los componentes están altamente acoplados entre sí, y que solo tiene una base de código (Goniwada, 2022).

Arquitectura Por capas y Domain Driven Design

La arquitectura por capas es un tipo de arquitectura cuyo propósito se centra en encapsular cada una de las funcionalidades de la aplicación de acuerdo con sus responsabilidades; se usa para limitar el acoplamiento y restringir cómo las capas se comunican entre sí (Oliveira Rocha, 2022). Por su parte, *Domain-Driven Design* (DDD) es una práctica en el desarrollo de software orientado al dominio del negocio, para el cual se necesita un amplio conocimiento de los procesos y las reglas del mismo (Özkan, Babur, & Van Den Brand, 2023).

Background

La aplicación de microservicios y el uso de arquitecturas limpias ya ha sido estudiado mediante casos de uso. Por ejemplo, de acuerdo con el artículo de Özkan, Babur y Van Den Brand (2023), en un contexto empresarial la práctica conocida como *Domain-Driven Design* fue de ayuda para estandarizar el desarrollo en el proyecto, dando como resultado un código más mantenible y testeable. En el caso de estudio de dicho artículo se afirma que los ingenieros que trabajaron utilizando esta metodología tuvieron una percepción favorable respecto a la implementación de esta arquitectura. También se afirma que esta forma de desarrollar código se alinea con el dominio del negocio, siendo una manera efectiva para la resolución de problemas.

En el caso de estudio presentado en el artículo de Aydemir y Başçiftçi (2022), se concluyó que una implementación de microservicios distribuida se vuelve mucho más compleja que una aplicación distribuida monolítica. Además, se requiere de más herramientas para su funcionamiento, por ejemplo: Docker, Kubernetes, OAuth2, entre otros. En el artículo se menciona que esta complejidad requiere de mucho cuidado, dado que se podrían producir cuellos de botella en el sistema si no se realizan las implementaciones de manera apropiada.

En cuanto a herramientas estudiadas, en el artículo de Zeng et al. (2022), los autores analizan diferentes métodos de virtualización y contenerización, centrándose en la eficiencia y el rendimiento de cada uno en entornos de aprovisionamiento concurrente de múltiples instancias. Se comparan plataformas populares como Unikernel, Docker y máquinas virtuales basadas en el kernel (KVM). Además, se presentan estudios de caso sobre Docker aplicado en arquitecturas de microservicios, comparando patrones de arquitectura que utilizan máquinas virtuales, contenedores y plataformas *serverless*. Asimismo, se detallan las limitaciones clave de estas tecnologías.

También se examinan los impactos de sobrecarga del sistema y del rendimiento de la red provocados por diversas tecnologías de virtualización y contenerización (Usman, Ferlin, Brunstrom, & Taheri, 2022). Algunos estudios se centran en el análisis del rendimiento de la red en relación con el tráfico entre *hosts*, mientras que otros exploran el impacto en el rendimiento de la red de microservicios contenerizados, debido al costo

de hipervisores y redes definidas por software. Estos trabajos ofrecen resultados experimentales sobre cómo diferentes factores, como redes definidas por software (SDN), contenerización y encriptación, afectan al rendimiento de la red en entornos de microservicios.

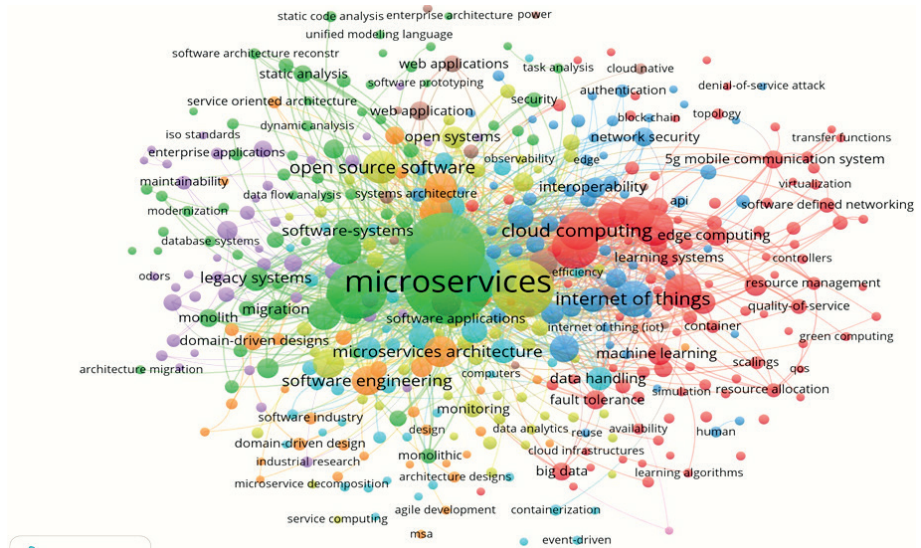
METODOLOGÍA

Estudio de revisión con enfoque cualitativo: Se plantea realizar un estudio descriptivo y explicativo, en el que se recopilen los resultados obtenidos por diferentes autores en la construcción de sistemas de información que implementen Microservicios. El artículo contempla la realización de un análisis documental exhaustivo en la base de datos Scopus, Elsevier, e IEEEExplore, para literatura publicada entre 2020 y 2024, La cadena de búsqueda empleada fue la siguiente, “Microservice AND Architecture AND Software” con un resultado de 1493 documentos, por lo que se aplicó un filtro dejando la literatura publicada en los últimos 4 años, esto dejó 1108 publicaciones recientes. Para abordar los temas relevantes al área de estudio, se aplicó un filtro para las áreas de “Computer Science” y “Engineering”, y se limitó el idioma a publicaciones en inglés, dando como resultado final 1038 documentos, los cuales fueron exportados en csv para su posterior análisis.

Selección de artículos relevantes: Para el análisis de datos se incluyó una revisión de fuentes usando la herramienta Vosviewer, que permitió la visualización de redes bibliométricas, la cual, fue de utilidad para la identificación de clústeres de información y observación de tendencias en los documentos seleccionados (Figura 1). También, se hizo uso del programa ScientoPy para clasificar los papers de acuerdo con la temática que abordan y facilitar la selección de publicaciones relevantes al objetivo del artículo.

Figura 1

Mapa de términos relacionados con microservicios según coocurrencia de palabras clave



Nota. La figura fue generada con VOSviewer a partir de un análisis bibliométrico de coocurrencia de palabras clave en publicaciones académicas. Se visualizan clústeres temáticos como *microservices architecture*, *cloud computing*, *internet of things* y *open source software*, que muestran la relevancia y conexiones entre conceptos clave en la investigación sobre microservicios. Fuente: network visualization (2024).

Tabla 2
Clústeres de información.

Número	Clúster	Items
Clúster 1	Network Architecture	102
Clúster 2	Architecture Design	70
Clúster 3	Software Architecture	61
Clúster 4	Business rules and requirement analysis	58
Clúster 5	Software Quality	45
Clúster 6	Devops	44

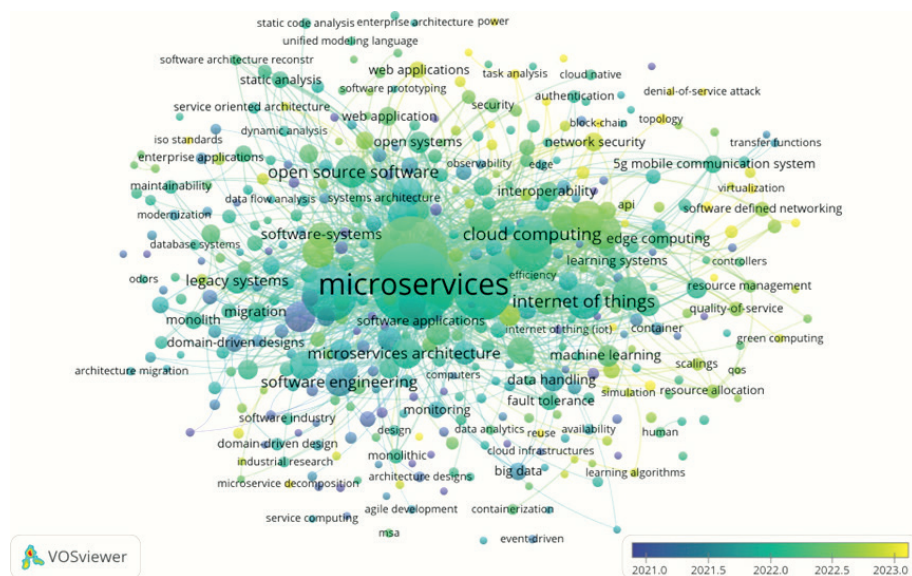
Nota. Elaboración propia (2025).

En la Tabla 2 se enumeran los clústeres proporcionados por VosViewer. Los más representativos de acuerdo con el tema del artículo son los clústeres número 2, 3 y 4, ya que estos clústeres se alinean con la parte organizacional en la construcción de un proyecto de software, también, son temáticas relacionadas a la arquitectura limpia y Domain-Driven-Design.

En la Figura 2 se muestra el mapa de coocurrencia de palabras clave que se identificaron en el área de microservicios.

Figura 2

Mapa de coocurrencia de palabras clave en investigaciones sobre microservicios por año de publicación.



Nota. Visualización generada con VOSviewer, basada en el análisis de coocurrencia de palabras clave en publicaciones académicas entre 2021 y 2023. Fuente: Elaboración propia (2024).

Con la herramienta VosViewer, se puede observar las tendencias de investigación en el área. Los temas recientes son los relacionados con python, virtualización, green computing e IA, aunque estos temas aún están en crecimiento y hacen falta más investigaciones respecto a ello.

Para realizar la búsqueda de los papers en cada clúster, se descargaron las referencias de scopus en formato csv y se importaron a ScientoPy. Con el resultado de la herramienta de análisis, se pudo hacer una mejor preselección de los artículos de la Tabla 3.

Tabla 3

Papers Seleccionados (artículos seleccionados sobre microservicios).

Referencias (APA 7)	Tema abordado	Descripción
Vale et al. (2022); Oliveira Rosa et al. (2020); Valdivia et al. (2019); Li et al. (2021); Meijer et al. (2024)	Atributos de calidad en una arquitectura de microservicios	Los artículos seleccionados realizan un análisis de atributos como la mantenibilidad, seguridad, escalabilidad, entre otros, para identificar las fortalezas de esta arquitectura.
Wang et al. (2021); de Toledo et al. (2021); Meijer et al. (2024)	Beneficios y desventajas de una arquitectura de microservicios	Los artículos están estrechamente relacionados con los atributos de calidad; sin embargo, realizan una evaluación más detallada de los trade-offs implicados en su implementación.
Auer et al. (2021); Ayas et al. (2021); Salii et al. (2023); Kuryazov et al. (2020); Nordli et al. (2023)	Migración desde una arquitectura monolítica a microservicios	Los artículos analizan las implicaciones de la migración, identificando procesos clave, resultados y desafíos comunes durante la transformación arquitectónica.
Özkan et al. (2023); Farsi et al. (2021); Le et al. (2020)	Diseño orientado al dominio	Los artículos abordan el uso de Domain-Driven Design en la arquitectura, empleándolo para identificar módulos críticos de la lógica de negocio y candidatos para microservicios.
Raharjo et al. (2022); Blinowski et al. (2022)	Comparación entre monolitos y microservicios	A través de pruebas en ambas arquitecturas, los autores identifican ventajas comparativas para determinar en qué escenarios es más conveniente cada enfoque.

Referencias (APA 7)	Tema abordado	Descripción
Giallorenzo et al. (2023); Taibi et al. (2020)	Herramientas y buenas prácticas en la construcción de microservicios	Se presentan tecnologías y lenguajes utilizados en la industria para facilitar el desarrollo, además de recomendaciones para evitar anti-patrones durante la implementación.

Nota. Elaboración propia (2025).

RESULTADOS

La Tabla 4 presenta una síntesis de atributos clave contrastando la arquitectura de microservicios con la arquitectura monolítica.

Tabla 4
Comparación de atributos entre microservicios y arquitectura monolítica

Atributo	Microservicios	Monolito
Escalabilidad	Se centra en escalabilidad horizontal, permitiendo agregar más instancias al sistema (Saša Baškarada et al., 2020).	Permite escalar el sistema de manera vertical, agregando más recursos a la instancia (Blinowski et al., 2022).
Reusabilidad	Un microservicio puede ser reutilizado múltiples veces gracias a su bajo nivel de acoplamiento (Li et al., 2021).	Los componentes están fuertemente acoplados, lo que dificulta reutilizar un módulo en otros sistemas (Li et al., 2021).
Mantenibilidad	El sistema está dividido en pequeños componentes, lo que reduce la complejidad y facilita la refactorización sin afectar otras partes (Auer et al., 2021). No obstante, esto dificulta la trazabilidad de errores y requiere una mayor inversión inicial.	Inicialmente requiere menos esfuerzo, pero en sistemas complejos puede dificultar la refactorización y aumentar la deuda técnica (Lenarduzzi et al., 2020).

Atributo	Microservicios	Monolito
Rendi- miento	Debido a que esta arquitectura agrega capas de latencia, presenta menor rendimiento en sistemas con pocas instancias (Saša Baškarada et al., 2020; Auer et al., 2021; Blinowski et al., 2022).	En una sola instancia, esta arquitectura presenta mejor rendimiento, ya que los componentes están directamente conectados entre sí (Blinowski et al., 2022).
Disponi- bilidad	La caída de un servicio no implica la interrupción de todo el sistema, a menos que sea un componente crítico. Permite integrar cambios de forma continua en producción (Raharjo et al., 2022).	Realizar un cambio implica desplegar todo el sistema. Es menos tolerante a fallos que los microservicios (Li et al., 2021).

Nota. Elaboración propia (2025).

Entre las ventajas discutidas de los microservicios están la escalabilidad, mantenibilidad y reusabilidad. Los artículos de Li et al. (2021), Oliveira Rosa et al. (2020), Auer et al. (2021), Vale et al. (2022), Blinowski et al. (2022) y Parikh et al. (2022) confirman los beneficios de escalabilidad en la implementación de microservicios. Sin embargo, en estos estudios se matiza que también hay desventajas. Por ejemplo, Blinowski et al. (2022) y Parikh et al. (2022) mencionan que, en una sola instancia y en un sistema con pocos hilos, una arquitectura monolítica tiene mejor desempeño que una aplicación distribuida en microservicios, por lo que en este caso los autores recomiendan escalar verticalmente un sistema en lugar de realizar una migración.

Por su parte, el punto fuerte de los microservicios es el escalado horizontal (Li et al., 2021), ya que permite agregar más instancias al sistema de un servicio específico, aunque también tiene sus implicaciones, ya que según Blinowski et al. (2022), agregar demasiadas instancias degrada su rendimiento a largo plazo. En aplicaciones grandes, otro punto discutido en la bibliografía es la adición de nuevos módulos. De acuerdo con Kuryazov et al. (2020), en un monolito ya establecido, adicionar nuevas funcionalidades puede ser un reto, mientras que, en los microservicios, la granularidad de estos ayuda a separar los equipos de desarrollo y mejorar la integración continua de nuevas características al proyecto.

La tolerancia a fallos es otro punto fuerte de los microservicios observado por Saša Baškarada et al. (2020), Ramsingh et al. (2022) y Raharjo et al. (2022). Esto se debe a la independencia de los mismos, ya que la caída de uno de estos no tiene por qué afectar a los demás (Ramsingh et al., 2022). Sin embargo, tal como explican Li et al. (2021), encontrar la causa raíz de un error puede ser una tarea compleja, por lo que una arquitectura de microservicios requiere de una supervisión constante. Además, implementar medidas de autorización en microservicios resulta una tarea más compleja, debido a los cuellos de botella que se podrían presentar si se realiza de manera centralizada (Ponce et al., 2022). Por este motivo, en varios estudios, los profesionales entrevistados mostraron una percepción negativa respecto a la seguridad como atributo en los microservicios, debido a la dificultad de su implementación.

La implementación de una arquitectura hexagonal para microservicios es un tema que requiere más documentación y casos de estudio para poder evaluar mejor sus beneficios. Sin embargo, los principios de *Domain-Driven Design* estudiados en los artículos de Özkan et al. (2023) y Farsi et al. (2021), así como los principios SOLID aplicados en los artículos de Li et al. (2021), Oliveira Rosa et al. (2020) y Goniwada (2022), forman una base sólida que se alinea con la filosofía de la arquitectura hexagonal, debido a que el foco principal de su aplicación es el dominio de la aplicación, es decir, “de aquello de lo que trata el negocio” (Özkan et al., 2023).

También se menciona que una técnica para la descomposición de microservicios es aprovechar DDD mediante diagramas de flujo de datos (Kalia et al., 2021). Sin embargo, algunos autores afirman que la implementación de DDD no es suficiente. Por ejemplo, Farsi et al. (2021) concluyen que se pueden presentar anti-patrones en este tipo de arquitecturas, como por ejemplo una distribución de monolitos al crear microservicios demasiado complejos. Asimismo, según Ramsingh et al. (2022), se pueden crear microservicios para cada funcionalidad del sistema, aunque no sea requerido. Este punto también es abordado por Auer et al. (2021) y Vale et al. (2022), quienes consideran que esto representa una mala práctica, ya que impacta negativamente en el rendimiento y la trazabilidad de errores debido a la mayor complejidad en el manejo de la información.

En el artículo de Kuryazov et al. (2020) se menciona que las aplicaciones de microservicios deben ser fuertemente cohesivas, pero débilmente acopladas, lo que implica que los microservicios deben ser independientes entre sí, pero capaces de colaborar funcionalmente (Moreira & De França, 2022). Este enfoque busca mejorar la mantenibilidad, escalabilidad y flexibilidad del software, promoviendo la separación de preocupaciones (Weerasinghe & Perera, 2022) y la cohesión interna al descomponer monolitos complejos en servicios más pequeños y manejables. Esto facilita la adaptación a nuevos requerimientos y tecnologías, características clave de las arquitecturas limpias.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Pese a la falta de resultados obtenidos respecto a la arquitectura hexagonal, algunos artículos sirven de base para plantear la separación de capas que dicha arquitectura propone (dominio, aplicación e infraestructura). Aquellos artículos centrados en *Domain-Driven Design* explican la importancia de separar la lógica de negocio de su implementación. Esto es de utilidad, ya que en la literatura sobre microservicios se explica que cada microservicio puede estar escrito en un lenguaje diferente, y la forma en que se comunican puede variar dependiendo del contexto del negocio. De acuerdo con Waseem et al. (2021), gran parte de los encuestados en dicho artículo recomendaban usar la estrategia de separar el dominio de la aplicación de los demás componentes, lo que resultaba útil para identificar los beneficios que aportaban los microservicios. Además, según Zimmermann (2017), esta estrategia ayuda a superar algunas de las deficiencias de las arquitecturas orientadas a servicios (SOA). De esta manera, los estudiantes pueden centrarse en comprender los casos de uso de la aplicación y la importancia de aislarlos de las tecnologías utilizadas.

En un entorno de aprendizaje, los componentes de evolución y mantenibilidad de un sistema de información varían en gran medida respecto a un entorno empresarial (Bogner et al., 2019). Dichas características pueden empeorar con el tiempo en grandes aplicaciones monolíticas debido al aumento de su complejidad. Lo que sugieren los autores es explorar el concepto de *separation of concerns*, presente en los principios SOLID, la arquitectura hexagonal y los microservicios. Lo que se busca

con dicho concepto es que cada parte de la aplicación sea responsable únicamente de lo que le corresponde. En los microservicios, esto ayuda a identificar los servicios críticos de la aplicación; y en la arquitectura hexagonal, se observa que la separación por capas, basada en el principio de inversión de dependencias, facilita la migración de herramientas como bases de datos y canales de comunicación, lo que permite tener una aplicación actualizada, mantenible y escalable.

Un estudiante debe tener la capacidad de identificar qué alternativa de arquitectura es mejor para el software que está desarrollando. En las pruebas de rendimiento realizadas en los artículos citados, se concluye que los microservicios no siempre son la mejor solución. Por ejemplo, en aplicaciones pequeñas, una arquitectura monolítica tiene mejor desempeño, ya que no agrega capas de latencia en la comunicación de los módulos de la aplicación. Además, en una arquitectura de microservicios, con el paso del tiempo, se tiende a trabajar más en la capa de infraestructura (tecnologías externas a la aplicación) que en el dominio del negocio (Assunção et al., 2023). Sin embargo, con una arquitectura hexagonal se tiene la ventaja de que los componentes centrales de la aplicación (capa de aplicación y dominio) no tienen por qué verse afectados por el cambio de un adaptador externo, lo que implica menos errores al momento de actualizar cierta tecnología.

CONCLUSIONES

Una arquitectura de microservicios es una mejor opción para aplicaciones que estén constantemente agregando nuevos módulos y que necesiten escalar horizontalmente. Además, ayuda a mejorar la mantenibilidad a lo largo del tiempo. Sin embargo, su implementación requiere tiempo y, aunque facilite el desarrollo de la aplicación, agrega complejidad en la comunicación del sistema al añadir latencia.

Para la construcción de microservicios es recomendable conocer técnicas de contenerización, ya que esto reduce los recursos que comúnmente consume una máquina virtual. En la literatura también se sugiere implementar herramientas para automatizar el despliegue y la refactorización. Adicionalmente, es importante conocer a detalle los principios SOLID, ya que son la base para evitar complicaciones en su implementación.

Además, debido a que una de las ventajas identificadas en los microservicios es la integración continua, para el perfil del desarrollador es importante saber acerca de prácticas de DevOps (Michael Ayas, Hebig, & Leitner, 2024).

Tanto la arquitectura hexagonal como la arquitectura de microservicios tienen una fuerte influencia del principio de responsabilidad única y de separación de responsabilidades. Además, debido a que la arquitectura hexagonal está fundamentada en la práctica Domain-Driven Design, esta puede ser implementada en una arquitectura de microservicios, reduciendo la percepción de complejidad de esta, siempre y cuando se evalúe previamente un plan para su refactorización (Landre, Wesenberg, & Rønneberg, 2006). Aun así, hacen falta casos de estudio que presenten evidencia empírica de los posibles beneficios de una arquitectura hexagonal con microservicios en un entorno empresarial.

Por último, la decisión de implementar microservicios debe ser tomada con precaución, dado que no siempre es la mejor opción para la estructuración de una aplicación e incluso puede ser contraproducente y ocasionar sobre costos y pérdida de rendimiento del sistema. Si se planea empezar con un tipo de arquitectura para realizar una migración en el futuro, es recomendable aplicar algunas prácticas que separen correctamente dicha aplicación en módulos. Por ejemplo, con arquitectura hexagonal se puede modularizar un monolito mediante las capas de dominio, aplicación e infraestructura (Faustino, Gonçalves, Portela, & Rito Silva, 2024), lo que facilitaría el reemplazo de los canales de comunicación entre componentes en la capa de infraestructura, y aumentaría su independencia al aislar la lógica de negocio en la capa de dominio de la aplicación.

REFERENCIAS

- Assunção, W. K., Krüger, J., Mosser, S., & Selaoui, S. (2023). How do microservices evolve? An empirical analysis of changes in open-source microservice repositories. *Journal of Systems and Software*, 204, 111788–111789.
- Auer, F., Lenarduzzi, V., Felderer, M., & Taibi, D. (2021). From monolithic systems to microservices: An assessment framework. *Information and Software Technology*, 137, 106600–106601.
- Ayas, H. M., Leitner, P., & Hebig, R. (2021). Facing the giant: A grounded theory study of decision-making in microservices migrations. In *Proceedings of the 15th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)*. ACM.
- Aydemir, F., & Başçiftçi, F. (2022). Building a performance efficient core banking system based on the microservices architecture. *Journal of Grid Computing*, 20(4).
- Başkarada, S., Narayan, V., & Koronios, A. (2020). Architecting microservices: Practical opportunities and challenges. *Journal of Computer Information Systems*, 60(5), 428–436.
- Blinowski, G., Ojdowska, A., & Przybyłek, A. (2022). Monolithic vs. Microservice Architecture: A performance and scalability evaluation. *IEEE Access*, 10, 20357–20374.
- Bogner, J., Fritzsche, J., Wagner, S., & Zimmermann, A. (2019). Microservices in industry: Insights into technologies, characteristics, and software quality. In *2019 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSAC-C)* (pp. 187–195). IEEE.
- Correia, J., & Rito Silva, A. (2022). Identification of monolith functionality refactorings for microservices migration. *Software: Practice and Experience*, 52(12), 2664–2683.
- De Toledo, S. S., Martini, A., & Sjøberg, D. I. (2021). Identifying architectural technical debt, principal, and interest in microservices: A multiple-case study. *Journal of Systems and Software*, 177, 110968–110969.
- Esparza-Peidro, J., Muñoz-Escóí, F. D., & Bernabéu-Aubán, J. M. (2024). Modeling microservice architectures. *Journal of Systems and Software*, 213, 112041–112042.

- Farsi, H., Allaki, D., En-nouaary, A., & Dahchour, M. (2021). Following domain driven design principles for Microservices decomposition: Is it enough?
- Faustino, D., Gonçalves, N., Portela, M., & Rito Silva, A. (2024). Stepwise migration of a monolith to a microservice architecture: Performance and migration effort evaluation. *Performance Evaluation*, 164, 102411–102412.
- Giallorenzo, S., Montesi, F., Peressotti, M., & Rademacher, F. (2023). LEMMA2Jolie: A tool to generate microservice APIs from domain models. *Science of Computer Programming*, 228, 102956–102957.
- Goniwada, S. R. (2022). Cloud native architecture principles. In *Cloud Native Architecture and Design* (pp. 55–125). Apress.
- Kapferer, S., & Zimmermann, O. (2020). Domain-specific language and tools for strategic domain-driven design, context mapping and bounded context modeling. In *Proceedings of the 8th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD)* (pp. 299–306). SciTePress.
- Kalia, A. K., Xiao, J., Krishna, R., Sinha, S., Vukovic, M., & Banerjee, D. (2021). Mono2Micro: A practical and effective tool for decomposing monolithic Java applications to microservices. In *Proceedings of the 29th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering* (pp. 1214–1224). ACM.
- Kuryazov, D., Jabborov, D., & Khujamuratov, B. (2020). Towards decomposing monolithic applications into microservices (pp. 1–4).
- Landre, E., Wesenberg, H., & Rønneberg, H. (2006). Architectural improvement by use of strategic level domain-driven design. In *Companion to the 21st ACM SIGPLAN Symposium on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications* (pp. 809–814). ACM.
- Le, D. M., Dang, D.-H., & Nguyen, V.-H. (2020). Generative software module development for domain-driven design with annotation-based domain specific language. *Information and Software Technology*, 120, 106239–106240.
- Lenarduzzi, V., Lomio, F., Saarimäki, N., & Taibi, D. (2020). Does migrating a monolithic system to microservices decrease the

- technical debt? *Journal of Systems and Software*, 169, 110710–110711.
- Martini, A., Fontana, F. A., & others. (2018). Identifying and prioritizing architectural debt through architectural smells: A case study in a large software company.
- Meijer, W., Trubiani, C., & Aleti, A. (2024). Experimental evaluation of architectural software performance design patterns in microservices. *Journal of Systems and Software*, 218, 112183–112184.
- Moreira, M. G., & De França, B. B. N. (2022). Analysis of Microservice Evolution using Cohesion Metrics. In *Proceedings of the 16th Brazilian Symposium on Software Components, Architectures, and Reuse* (pp. 40–49). ACM.
- Nordli, E. T., Haugeland, S. G., Nguyen, P. H., Song, H., & Chauvel, F. (2023). Migrating monoliths to cloud-native microservices for customizable SaaS. *Information and Software Technology*, 160, 107230–107231.
- Nupura, T., & Pravins, S. G. (2019). Microservices and its applications: An overview. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 7.
- Oliveira Rocha, H. F. (2022). Defining an Event-Driven Microservice and Its Boundaries. In *Practical Event-Driven Microservices Architecture* (pp. 85–131). Apress.
- Oliveira Rosa, T. de, Daniel, J. F. L., Guerra, E. M., & Goldman, A. (2020). A method for architectural trade-off analysis based on patterns: Evaluating microservices structural attributes. In *Proceedings of the European Conference on Pattern Languages of Programs 2020*. ACM.
- Osman, M. H., Saadbouh, C., Sharif, K. Y., & Admodisastro, N. (2022). From Monolith to Microservices: A Semi-Automated Approach for Legacy to Modern Architecture Transition Using Static Analysis. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(10).
- Özkan, O., Babur, Ö., & Van Den Brand, M. (2023). Refactoring with domain-driven design in an industrial context. *Empirical Software Engineering*, 28(4).
- Parikh, A., Kumar, P., Gandhi, P., & Sisodia, J. (2022). Monolithic to Microservices Architecture – A Framework for Design and Implementation. In *2022 International Conference on Computer, Power and Communications (ICCPC)* (pp. 90–96).

- Ponce, F., Soldani, J., Astudillo, H., & Brogi, A. (2022). Smells and refactorings for microservices security: A multivocal literature review. *Journal of Systems and Software*, 192, 111393–111394.
- Raharjo, A. B., Andyartha, P. K., Wijaya, W. H., Purwananto, Y., Purwitasari, D., & Juniarta, N. (2022). Reliability Evaluation of Microservices and Monolithic Architectures. *CENiM*.
- Ramsingh, A., Singer, J., & Trinder, P. (2022). Classifying the Reliability of the Microservices Architecture. In *Proceedings of the 18th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST)* (pp. 21–32). SciTePress.
- Rasheedh, J. A., Rasheedh, M. J. A., S., S., S., & D. S. (2022). Design and Development of Resilient Microservices Architecture for Cloud Based Applications Using Hybrid Design Patterns. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*.
- Salii, S., Ajdari, J., & Zenuni, X. (2023). Migrating to a microservice architecture: Benefits and challenges. In *2023 46th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)* (pp. 1670–1677).
- Soldani, J., Tamburri, D. A., & Van Den Heuvel, W.-J. (2018). The pains and gains of microservices: A Systematic grey literature review. *Journal of Systems and Software*, 146, 215–232.
- Taibi, D., Lenarduzzi, V., & Pahl, C. (2020). Microservices Anti-patterns: A Taxonomy. In Bucchiarone, A., Dragoni, N., Dustdar, S., et al. (Eds.), *Microservices: Science and Engineering* (pp. 111–128). Springer.
- Usman, M., Ferlin, S., Brunstrom, A., & Taheri, J. (2022). A Survey on Observability of Distributed Edge & Container-Based Microservices. *IEEE Access*, 10, 86904–86919.
- Vale, G., Correia, F. F., Guerra, E. M., Oliveira Rosa, T. de, Fritzsche, J., & Bogner, J. (2022). Designing Microservice Systems Using Patterns: An Empirical Study on Quality Trade-Offs. *Journal of Systems and Software*, 0, 69–79.
- Valdivia, J. A., Limón, X., & Cortes-Verdin, K. (2019). Quality attributes in patterns related to microservice architecture: A Systematic Literature Review. In *2019 7th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)* (pp. 181–190).
- Wang, Y., Wang, Y., Kadiyala, H., & Rubin, J. (2021). Promises and challenges of microservices: An exploratory study. *Empirical Software Engineering*, 26.

- Waseem, M., Liang, P., Shahin, M., Di Salle, A., & Márquez, G. (2021). Design, monitoring, and testing of microservices systems: The practitioners' perspective. *Journal of Systems and Software*, 182, 111061–111062.
- Weerasinghe, S., & Perera, I. (2022). Taxonomical Classification and Systematic Review on Microservices. *International Journal of Engineering Trends and Technology*.
- Yu, D., Jin, Y., Zhang, Y., & Zheng, X. (2019). A survey on security issues in services communication of Microservices-enabled fog applications. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 31(22), e4436.
- Zeng, R., Hou, X., Zhang, L., Li, C., Zheng, W., & Guo, M. (2022). Performance optimization for cloud computing systems in the microservice era: State-of-the-art and research opportunities. *Frontiers of Computer Science*, 16(6).
- Zhou, X., Li, S., Cao, L., et al. (2023). Revisiting the practices and pains of microservice architecture in reality: An industrial inquiry. *Journal of Systems and Software*, 195, 111521–111522.
- Zimmermann, O. (2017). Microservices tenets. *Computer Science - Research and Development*, 32(3), 301–310.

CAPÍTULO 2: INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Blockchain: aplicaciones que trascienden las criptomonedas

Cristian Felipe Solano Balaguera¹

RESUMEN

Este artículo analiza la tecnología blockchain, brindando un punto de vista más profundo, comenzando con una explicación de sus términos clave, su estructura y su funcionamiento. Por medio de ejemplos concretos, se muestra como blockchain ha ido evolucionando desde sus inicios, para ofrecer soluciones a problemas cotidianos de diversas áreas, incluyendo campos como la cadena de suministros, la atención médica e incluso sistemas electorales tradicionales. Al analizar las aplicaciones de blockchain no sólo es útil en el ámbito de las criptomonedas, sino que va mucho allá.

Palabras clave: Aplicaciones de blockchain, Cadena de suministros, Criptomonedas, Sistemas electorales, Tecnología blockchain.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. cristian.solanob@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con la PhD. Martha Susana Contreras Ortiz.

ABSTRACT

This article analyzes blockchain technology, providing a deeper perspective by starting with an explanation of its key terms, structure, and functionality. Through concrete examples, it demonstrates how blockchain has evolved since its inception to offer solutions to everyday problems in various fields, including supply chain management, healthcare, and even traditional electoral systems. By examining blockchain applications, it becomes clear that its usefulness extends far beyond the realm of cryptocurrencies.

Keywords: Blockchain applications, Blockchain technology, Cryptocurrency, Electoral systems, Supply chain.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, una nueva tecnología ha sorprendido al mundo tecnológico y financiero. Se trata de blockchain, un término que ha adquirido gran fama debido a su aplicación en el campo de las criptomonedas como Bitcoin, donde se mueven cientos de miles, e inclusive millones de dólares en transacciones digitales diarias a nivel mundial (CoinMarketCap, 2023). Blockchain no solo es una palabra de moda, tiene una historia profunda y significativa. A continuación, se describe un recorrido por su historia para comprender cómo alcanzó tal magnitud de visibilidad y aceptación en un lapso tan breve.

En 1989, W. Scott Stornetta, después de obtener su doctorado en Física en Stanford, comenzó a trabajar en Bellcore (Bell Communications Research). Tiempo después se asoció con Stuart Haber y sentaron las primeras bases de blockchain, realizando una propuesta de un sistema de documentos digitales con sello de tiempo que no pudiera ser modificado. El sistema utilizó bloques con seguridad criptográfica para almacenar los documentos sellados, y en 1992 se incorporaron los árboles Merkle, una estructura de datos dividida por capas que relaciona cada nodo con una raíz única (Larrier, 2021).

Hal Finney creó un sistema llamado RPoW, siglas en inglés de Reusable Proof of Work (Prueba de Trabajo Reutilizable) (Chohan, 2022). Básicamente, el sistema recibía un token de prueba de trabajo basado en Hashcash, el cual consiste en resolver una prueba criptográfica que demanda tiempo y hardware. A cambio, se creaba un token firmado por el algoritmo criptográfico RSA, que luego podía transferirse de una persona a otra (Chohan, 2022). RPoW es considerado uno de los primeros prototipos de lo que hoy se conoce como criptomonedas, ya que los tokens se registraban en un servidor diseñado para que los usuarios pudieran validar su exactitud e integridad en tiempo real (Chohan, 2022).

En 2008, cuatro años después de vencerse la patente de la tecnología propuesta por Haber y Stornetta, Satoshi Nakamoto —seudónimo de una persona o grupo de personas cuya identidad aún se desconoce— lanzó un libro de contabilidad descentralizado almacenado en cientos de miles de computadores alrededor del mundo, al cual denominó Bitcoin (Chohan, 2022). En Bitcoin, cada vez que se realiza una transacción, miles de

computadores compiten para escribirla en el libro contable, una metáfora que describe el registro inmutable de todas las transacciones. Por ende, si se intenta falsificar una transacción, los demás competidores (llamados “mineros”) lo detectarían, ya que realizan una prueba de trabajo resolviendo un problema criptográfico que demanda una gran cantidad de procesamiento, y a cambio reciben una recompensa en bitcoin.

En la era digital actual, las transacciones por Internet se han extendido a diversos ámbitos de la vida cotidiana, tales como pagos en tiendas y gestión de datos personales sensibles. Esta dependencia digital plantea múltiples retos en cuanto a la seguridad y confiabilidad de las transacciones. En este contexto, blockchain ha surgido como una alternativa con potencial para transformar la manera en que realizamos transacciones digitales.

Cada segundo se requiere producir, gestionar y almacenar grandes cantidades de información certificada. Tradicionalmente, esta información se aloja en sistemas centralizados como bases de datos, servidores locales y sistemas de gestión. Sin embargo, estos sistemas pueden estar a cargo de personas sin la capacitación adecuada, lo que los hace propensos a errores y vulnerables a escenarios de corrupción. Blockchain propone que la gestión de información se realice mediante sistemas eficaces, cada vez más rápidos y, sobre todo, incorruptibles.

Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos como Scopus, IEEE Xplore, Taylor & Francis y ScienceDirect, seleccionando las aplicaciones más relevantes de blockchain mediante las siguientes cadenas de búsqueda: “blockchain” AND “explaining”; “blockchain” AND “digital transactions”; “blockchain” AND “implementations”; “blockchain” AND “integrations”.

Blockchain tiene un gran impacto en la cadena de suministros, ya que permite una trazabilidad completa y clara de cualquier producto, desde su origen hasta el consumidor final (Zhao et al., 2019). Gracias a esta trazabilidad, se pueden detectar unidades defectuosas y retirarlas del mercado de manera precisa y ágil, ayudando a las empresas a ahorrar dinero y preservar su reputación.

Asimismo, la votación electrónica con blockchain puede representar un avance significativo respecto a los sistemas electorales tradicionales, al proporcionar un registro inmutable y descentralizado del voto de cada ciudadano (Vladucu, Dong, Medina, & Rojas-Cessa, 2023). Además, al ser descentralizado (View of Understanding Blockchain Technology, s.f.), permite una auditoría más accesible para los ciudadanos, aumentando así la confianza en el sistema.

En el ámbito de la salud, blockchain ha sido utilizado para mejorar la gestión de los registros médicos (Mettler, 2016). Permite un acceso seguro a la información médica, lo cual puede facilitar la interoperabilidad entre diferentes entidades prestadoras de salud.

Este artículo examina a profundidad la tecnología blockchain, exponiendo los términos clave en la sección II. Posteriormente, en la sección III, se abordan sus aplicaciones prácticas. A medida que se exploran estas aplicaciones, en la sección IV se presentan las conclusiones del estudio, mientras que la sección V contiene las referencias que respaldan las afirmaciones y análisis desarrollados a lo largo del documento.

FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

Antes de profundizar en algunas de las aplicaciones que posee blockchain, es de suma importancia entender cómo funciona. Es básicamente como aprender las reglas de un juego antes de empezar a jugarlo. En primer lugar, se dará un vistazo de los términos necesarios, para luego proceder a explicar el termino blockchain en sí mismo.

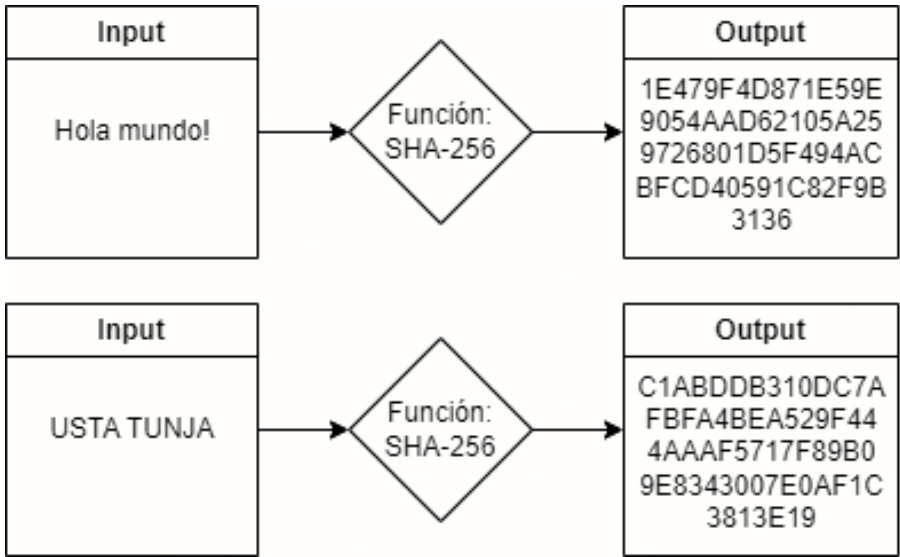
TÉRMINOS CLAVE

1) Hash

El *hash* es uno de los componentes más importantes de la tecnología **blockchain**, ya que se genera en función del contenido del bloque. Un *hash* es el resultado de aplicar una función criptográfica a una serie de datos. Una de las funciones más utilizadas es el algoritmo **Secure Hash Algorithm 256 (SHA-256)**, ampliamente adoptado en diversas imple-

mentaciones de seguridad digital (Appel, s.f.). En la Figura 1 se muestra el resultado de aplicar SHA-256 a una cadena de texto.

Figura 1
Encriptado con SHA-256.



Nota. Visualización del Hash. Fuente: Elaboración propia (2025).

2) Nonce

El *nonce* es un componente que ayuda a resolver el rompecabezas criptográfico en **blockchain**, el cual consiste en generar un *hash* que debe iniciar con cuatro ceros (Yaga et al., 2019). Por ejemplo, en la Figura 3 se evidencia cómo el *hash* no es válido debido a que el *nonce* posee un valor incorrecto. Una vez se le asigna el valor correcto al *nonce*, el *hash* se vuelve válido (véase Figuras 3 y 4).

3) Timestamp

El *timestamp* o marca de tiempo es un valor que se agrega al bloque para demostrar que los datos que lo componen existían en un momento determinado (Yaga et al., 2019).

4) Bloque

Un bloque es una agrupación de componentes. Según Ghiri et al. (2021), el bloque se compone de un encabezado y de datos. El cuerpo del bloque contiene la información (data) específica, mientras que el encabezado está compuesto por las partes: Hash del bloque previo; Timestamp; Nonce; Hash del bloque.

5) Contrato inteligente

Los contratos inteligentes son acuerdos que se ejecutan automáticamente. Se implementan en la **blockchain** con el objetivo de eliminar intermediarios, y se activan una vez se cumplen las condiciones definidas en la lógica de la aplicación (Westerkamp, 2019).

Figura 2

Nonce con el valor incorrecto.

Block:	#	1
Nonce:	15650	
Data:	Hola mundo!	
Hash:	0963ab7827d34e8011ff73e18c34458c3efb3109a67669a5fe9599ab83dc1e26	

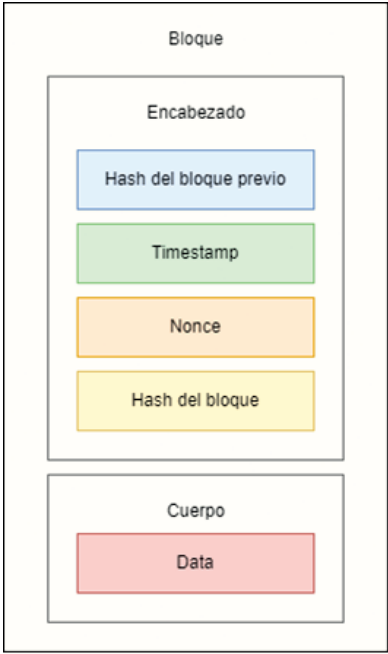
Nota. Ejemplo contrato inteligente. Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 3

Nonce con el valor correcto

Block:	#	1
Nonce:	55150	
Data:	Hola mundo!	
Hash:	0000f353f815369fa38be35340a567795256145ca101e5a74ecb4245f27e1b8a	

Figura 4
Descripción gráfica de un bloque con sus componentes.



Nota. Descripción grafica de un bloque con sus componentes. Fuente: Elaboración propia (2025).

BLOCKCHAIN

Una vez se adquieren los términos clave de blockchain, se tiene la posibilidad de explorar más a fondo de una manera más sencilla. Esta exploración se inicia analizando la estructura de blockchain. Luego se procede a analizar el funcionamiento, explicando los procesos y protocolos con los que cuenta esta tecnología.

Estructura de Blockchain

Cuando se traduce la palabra *blockchain* al español, se obtiene la expresión “cadena de bloques”, lo cual brinda una visión general de su estructura. Esta estructura consiste en una secuencia de bloques (véase Figura 5) que están conectados de manera consecutiva. Esta conexión

es posible gracias al valor que se conoce como *hash* del bloque anterior (Nakamoto, s.f.).

Figura 5

Cadena de bloques de estudiantes de trabajo de grado.



Nota. Ejemplo cadena de bloques de estudiantes de trabajo de grado.
Fuente: Elaboración propia (2025).

FUNCIONAMIENTO DE BLOCKCHAIN

Una vez se conoce la estructura de *blockchain*, se puede profundizar en su funcionamiento. El primer paso consiste en crear una red P2P (peer-to-peer o entre pares), que es una red en la que todos los dispositivos participantes, conocidos como “nodos”, se conectan entre sí sin necesidad de un servidor centralizado. En esta red P2P, cada nodo puede actuar tanto como cliente como servidor, y dispone de una clave pública y una clave privada. Cuando un nodo inicia una transacción —es decir, cuando desea agregar un bloque a la cadena— debe firmarla digitalmente con su clave privada, y los demás nodos verifican dicha firma con la clave pública.

Este mecanismo de validación se conoce como algoritmo de consenso, y su implementación varía según la tecnología de *blockchain* utilizada. Por ejemplo, en Bitcoin, la validación se realiza mediante una prueba de trabajo (*Proof of Work* - PoW), que consiste en asegurar que el *hash* del bloque que se desea agregar cumpla con una cierta cantidad de bits iniciales en cero. Este tipo de verificación demanda una gran capacidad computacional, lo que ha dado lugar a la aparición de los llamados *mineros*, quienes operan granjas de minería respaldadas por hardware especializado (Tayyebi Qasabeh & Sajjad Mousavi, 2022).

Aparte de PoW, existen otros algoritmos de consenso ampliamente utilizados:

- Prueba de participación (Proof of Stake - PoS): los nodos con mayor cantidad de activos gestionan la red.
- Prueba de autoridad (Proof of Authority - PoA): los nodos validados de forma arbitraria son quienes administran la red.
- Prueba del tiempo transcurrido (Proof of Elapsed Time - PoET): los nodos que han completado un tiempo de espera determinado gestionan la red.
- Prueba de participación delegada (Delegated Proof of Stake - DPoS): los nodos seleccionados por delegados gestionan la red.

APLICACIONES DE BLOCKCHAIN

Una vez que se conoce cómo funciona blockchain, se abre la posibilidad de explorar diferentes aplicaciones que no tengan relación con el ámbito de las criptomonedas. Hay múltiples procesos e industrias en las que se puede aplicar esta tecnología. Las tres aplicaciones que serán abordadas a continuación fueron seleccionadas debido a que son campos relevantes y fundamentales en la sociedad actual los cuales son el campo automovilístico, el campo de la salud y el campo electoral.

Blockchain en la gestión de la cadena de suministros

La gestión en la cadena de suministros es un proceso complejo en el que participan múltiples actores, desde fabricantes hasta distribuidores y, finalmente, el consumidor final. En este proceso es crucial garantizar la calidad, seguridad y trazabilidad del producto. No obstante, los sistemas actuales presentan diversas limitaciones, como la falta de transparencia, dificultad para rastrear productos y errores humanos (Westerkamp, 2019). Estas deficiencias pueden provocar la comercialización de productos defectuosos o peligrosos, pérdida de confianza por parte de los consumidores y una consecuente disminución en las ventas. Ante este panorama, la tecnología blockchain se posiciona como una alternativa con gran potencial.

Blockchain en la gestión de la cadena de suministros automovilísticos

Los defectos en los vehículos representan riesgos significativos para los usuarios y, en casos extremos, pueden derivar en lesiones graves o incluso la muerte. Por ello, una gestión eficiente de los retiros de productos es esencial para garantizar la seguridad del consumidor y mantener la confianza en las marcas automotrices. Sin embargo, los métodos tradicionales de gestión de retiros enfrentan múltiples retos, especialmente en términos de trazabilidad, transparencia y eficiencia.

Westerkamp (2019) propone un sistema basado en blockchain para gestionar la cadena de suministros automotriz, en colaboración con la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA, por sus siglas en inglés). Este sistema permite rastrear productos a lo largo de toda la cadena de suministros mediante registros inmutables y seguros de cada transacción o evento asociado al producto.

Cada producto se registra en la cadena de bloques como una entrada única que incluye información detallada sobre su origen, fabricación, transporte, almacenamiento, distribución y consumo. Cada vez que ocurre una transacción o cambio de estado, dicha información se añade a la cadena de forma transparente e inalterable. Esto facilita el acceso a la trazabilidad en tiempo real por parte de todos los actores implicados, aumentando así la seguridad y confiabilidad del sistema.

Además, esta solución se apoya en contratos inteligentes implementados sobre la plataforma Ethereum (Ghiro et al., 2021), los cuales automatizan diversos procesos relacionados con la gestión de productos, eliminando intermediarios y reduciendo costos y tiempos de operación (Westerkamp, 2019).

Asimismo, se incorpora el sistema de almacenamiento descentralizado IPFS (InterPlanetary File System), que permite compartir archivos de forma segura y eficiente entre los diferentes participantes. Esta integración se realiza mediante el uso de hashes únicos generados por los archivos en IPFS, los cuales son registrados en la blockchain de Ethereum. Así, se garantiza tanto la autenticidad de los archivos como un acceso confiable y seguro a la información almacenada.

Algoritmo 1: presentación de una queja sobre un defecto

Este algoritmo describe el proceso para presentar una queja sobre un defecto en un vehículo. El cliente proporciona detalles específicos sobre el vehículo y el defecto. Si el cliente está registrado y la información proporcionada es válida, se crea una solicitud de queja de defecto y se notifica a las partes interesadas, ver Figura 6.

Algoritmo 2: enviar una solicitud de inspección de defectos

Este algoritmo describe el proceso por el cual NHTSA presenta una solicitud para inspeccionar un defecto específico. Una vez que se proporcionan los detalles necesarios y se valida que la solicitud proviene de NHTSA, se crea una solicitud de inspección y se notifica a las partes interesadas, ver Figura 7.

Algoritmo 3: crear un informe de inspección y cargarlo en ipfs

Este algoritmo describe el proceso por el cual se proporcionan los detalles necesarios y se valida que la solicitud que viene del Departamento de Inspección, se crea el informe y se sube a IPFS, notificando a las partes.

Algoritmo 4: iniciar y enviar un aviso de retirada

Este algoritmo describe el proceso por el cual un fabricante de automóviles inicia y envía una notificación de retiro (recall) a un cliente y distribuidor específicos. Una vez que se proporcionan los detalles necesarios y se valida que la solicitud proviene del fabricante, se crea la notificación de retiro y se notifica a las partes interesadas, ver Figura 9.

Algoritmo 5: actualización del inventario y confirmación de la orden de compra

Este algoritmo describe el proceso por el cual el proveedor de partes de automóviles actualiza el inventario y confirma una orden de compra realizada por el fabricante de automóviles. Una vez que se proporcionan los detalles necesarios y se valida que la solicitud proviene del proveedor de partes de automóviles, se actualiza el inventario y se confirma la orden de compra, notificando a las partes interesadas, ver Figura 10.

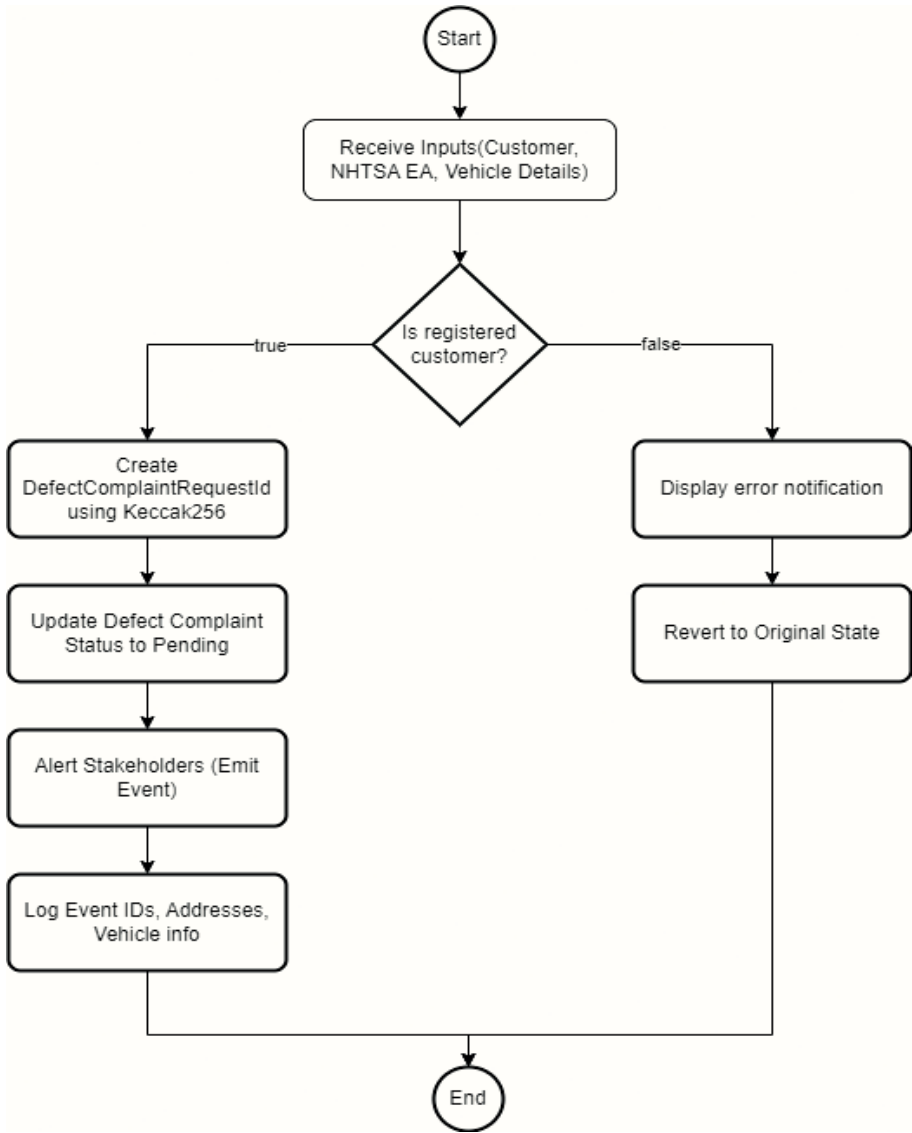
Algoritmo 6: auditoría de las actividades de las partes interesadas para imponer sanciones

Este algoritmo describe el proceso de auditoría de las actividades de los interesados durante el proceso de retiro (recall) de un producto. Si se detecta que el proceso de retiro ha excedido el tiempo máximo establecido para el servicio, se emite una penalización al fabricante de automóviles. La NHTSA es la única entidad autorizada para llevar a cabo esta auditoría y emitir sanciones, ver Figura 11.

La implementación de estos algoritmos en la cadena de bloques ofrece transparencia, trazabilidad y responsabilidad en todo el proceso. Además, la capacidad de emitir sanciones automáticamente basadas en auditorías en tiempo real puede actuar como un fuerte disuasivo para garantizar el cumplimiento de los estándares y regulaciones.

En conclusión, se ha demostrado que la incorporación de la tecnología blockchain en la cadena de suministros representa un avance significativo hacia la mejora de la transparencia, la eficiencia y la seguridad en la gestión logística. Se ha evidenciado cómo la inmutabilidad de los registros, la capacidad de trazabilidad y la automatización mediante contratos inteligentes no solo optimizan los procesos, sino que también fortalecen la confianza entre todos los actores involucrados. La blockchain no se limita únicamente al sector automotriz, sino que también ha sido aplicada con éxito en la cadena de suministros del sector salud (Wu & Lin, 2019) y en el ámbito agrícola.

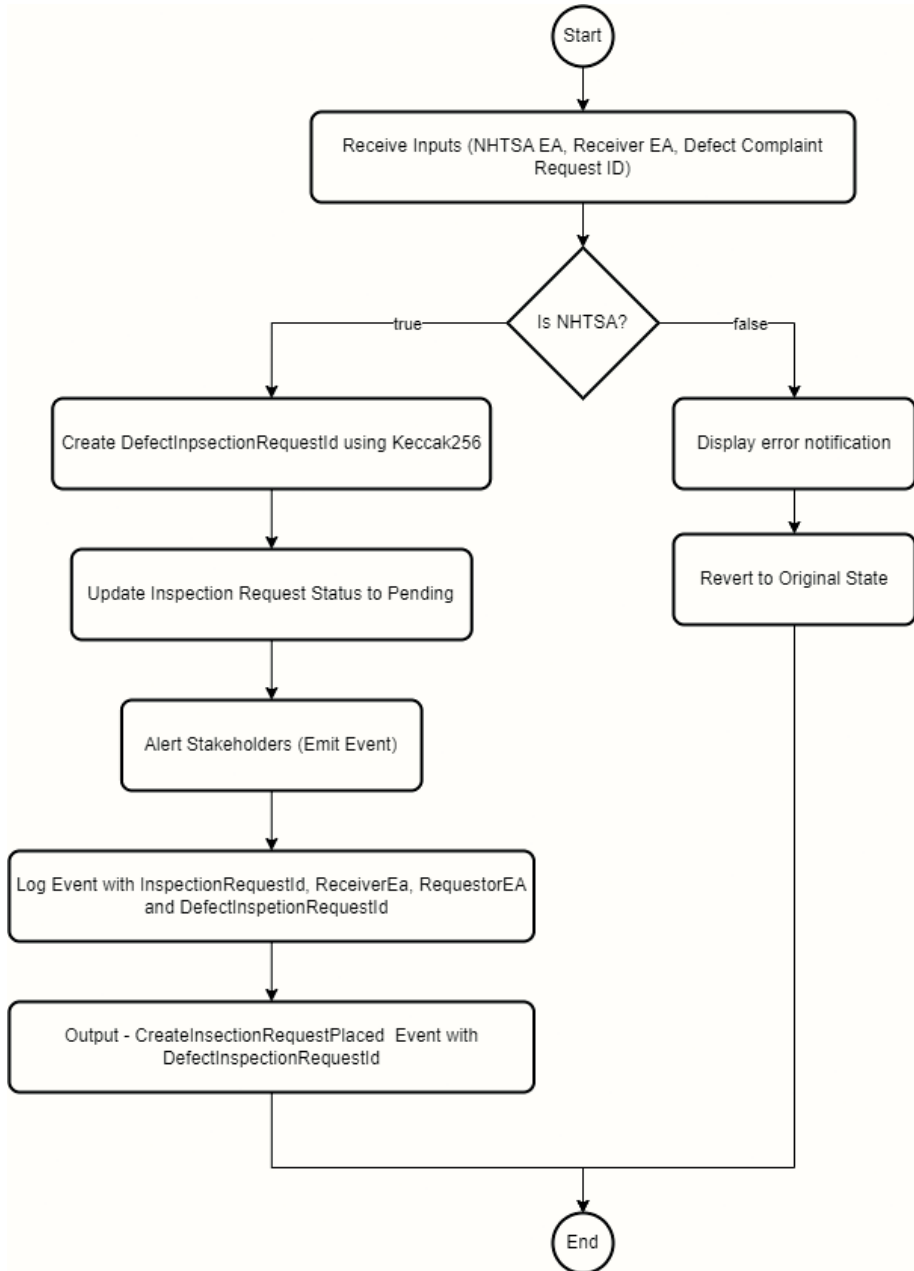
Figura 6
Algoritmo 1. Presentación de una queja sobre un defecto.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de Westerkamp (2019).

Figura 7

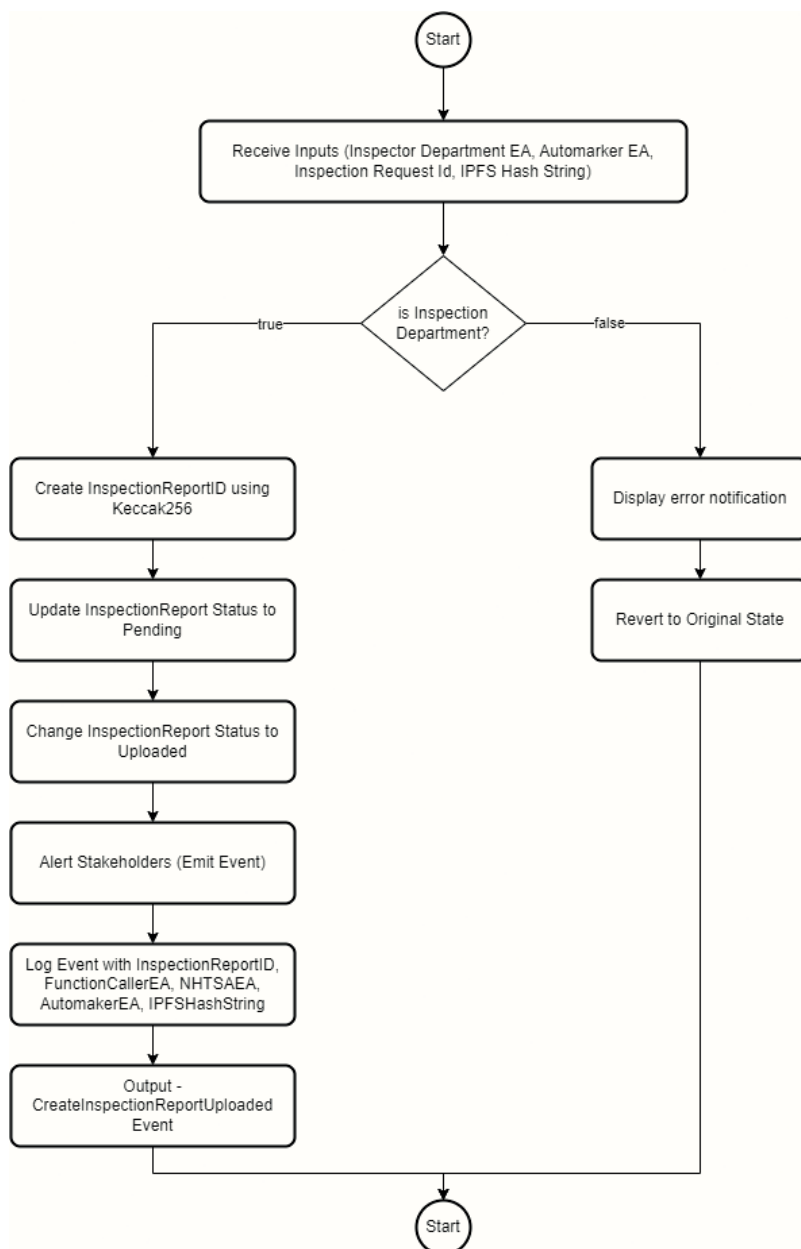
Algoritmo 2. Enviar una solicitud de inspección de defectos.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de Westerkamp (2019).

Figura 8

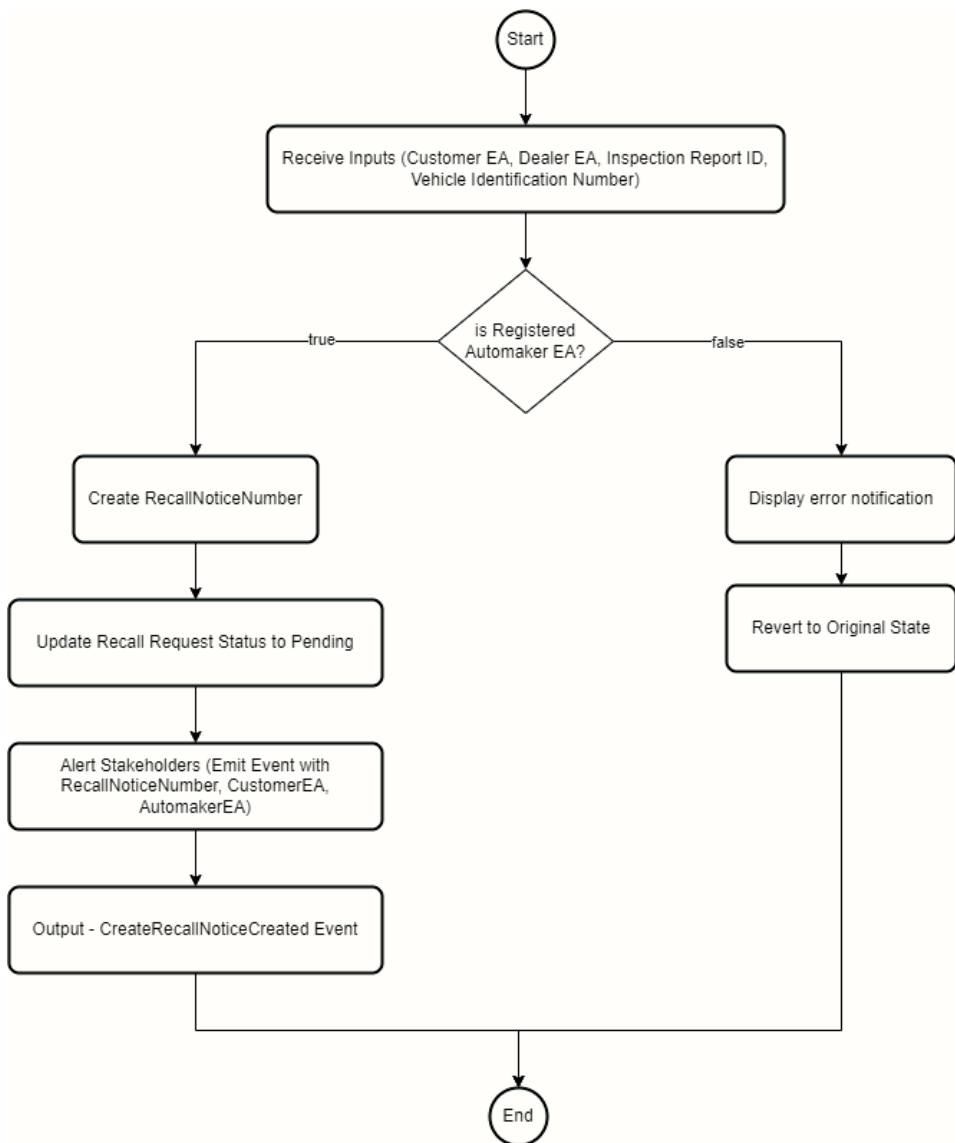
Algoritmo 3. Crear un informe de inspección y cargarlo en IPFS.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de Westerkamp (2019).

Figura 9

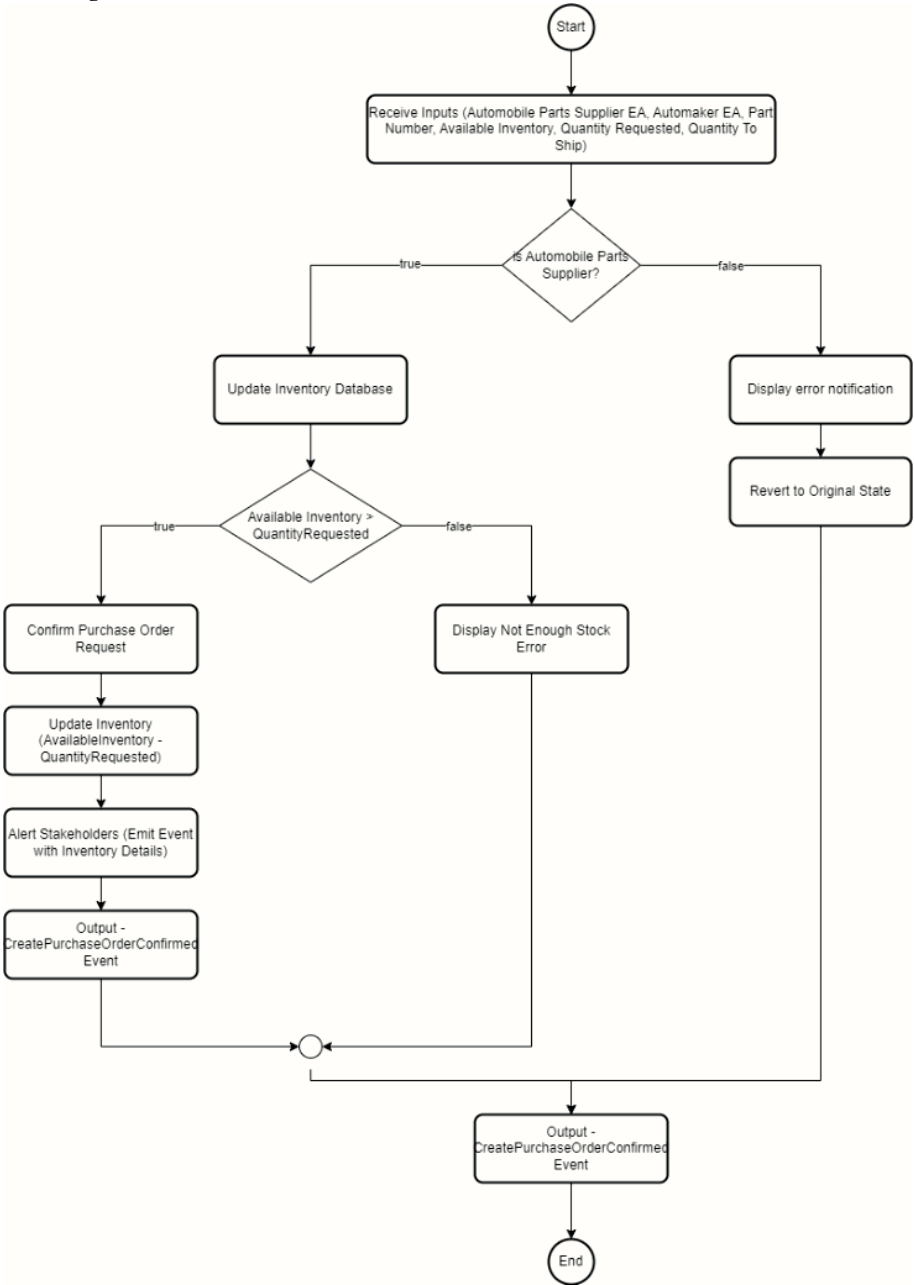
Algoritmo 4. Enviar una solicitud de inspección de defectos.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de Westerkamp (2019).

Figura 10

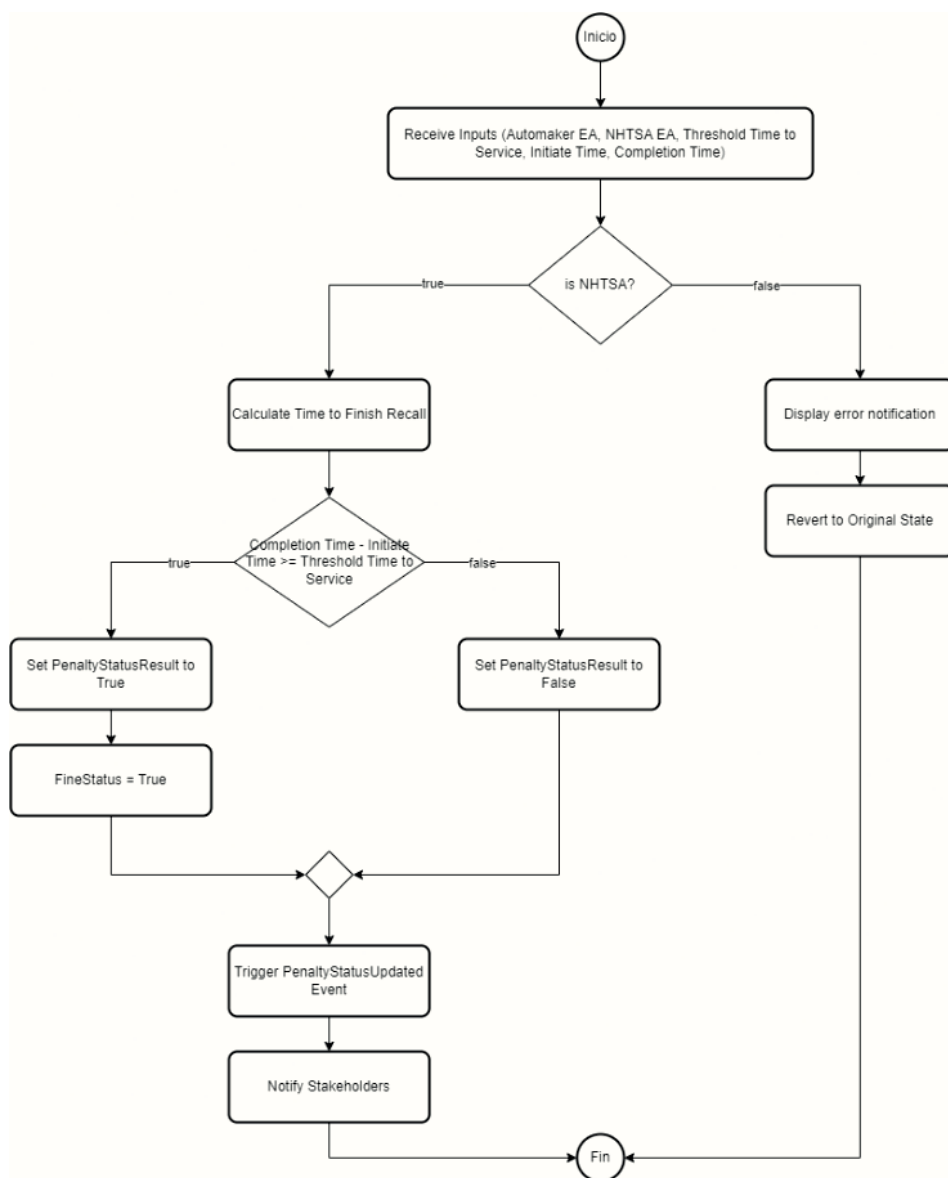
Algoritmo 5. Actualización del inventario y confirmación de la orden de compra.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de Westerkamp (2019).

Figura 11

Algoritmo 6. Auditoría de las actividades de las partes interesadas para imponer sanciones.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de Westerkamp (2019).

Blockchain en sistemas electorales electrónicos

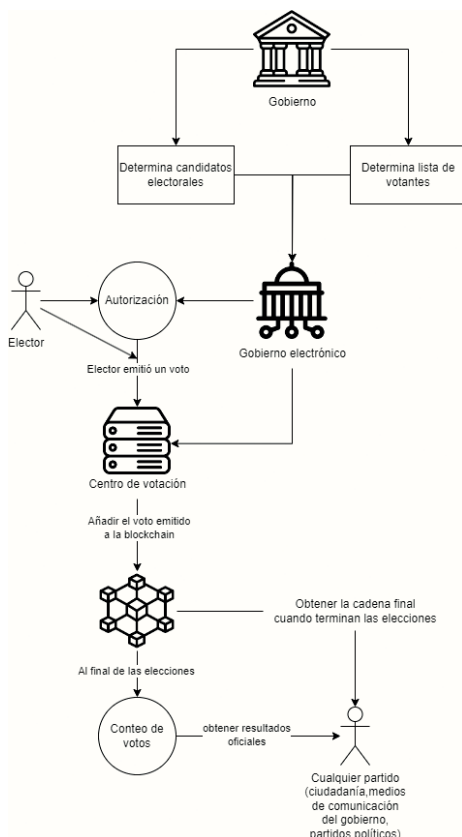
El sistema propuesto por Bulut et al. (s. f.) se compone de nodos cerrados a cualquier tipo de interferencia humana, ya que cualquier aportación que no sea un voto será ignorada. Se garantiza que cada ciudadano podrá votar una sola vez y, al emitir su voto, se informa al sistema del gobierno, el cual marca a esta persona como participante.

En blockchain, cada operación se vincula con la anterior, lo que hace que modificar una operación ya validada sea sumamente complejo. Gracias a la integridad de la cadena de bloques, la información se mantiene consistente y la votación es confiable. Si alguien intentara alterar la cadena de bloques, como agregar o eliminar votos, los demás nodos alineados detectarían rápidamente cualquier anomalía. Otro factor de seguridad es que cualquier tercero interesado puede obtener una copia de la blockchain y contar los votos, verificando así la legitimidad del proceso.

En este sistema, el gobierno se limita a autorizar las elecciones y proporcionar información sobre las urnas, los candidatos y su asociación con las urnas. Tanto el gobierno como los ciudadanos participan en la determinación de los candidatos. Cada voto se registra directamente en la blockchain, lo que representa grandes beneficios como la inmutabilidad del voto, el almacenamiento anónimo de los votos emitidos, y la posibilidad de obtener resultados electorales tan solo unos minutos después de finalizar la jornada electoral (Figura 12).

Figura 12

Escenario del sistema de votación electrónica blockchain.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de (Wu & Lin, 2019)

También se propone un sistema que cuenta con una estructura de distintos niveles para consolidar un sistema rápido, consistente y seguro. El sistema varía dependiendo de las características del país que lo use.

Este sistema ya fue utilizado en Turquía. Si todo el país hubiera depositado las elecciones en una sola blockchain, la sincronización del sistema tendría un problema de rendimiento, debido a la abundancia de papeletas y la distancia entre los centros de votación. La latencia entre los centros de votación de este país sería un gran problema, ya que la latencia mínima esperada sería de alrededor de 100ms. Este es un valor muy grande para un sistema que consiste en miles de centros y habría vota-

ciones en cada centro simultáneamente. En este caso, la sincronización del sistema llevaría mucho tiempo.

El nivel más bajo del sistema es donde los ciudadanos realizan sus votaciones. En el nivel más bajo, habrá una cadena que consiste en nodos (centros de votación) donde los ciudadanos realizarán su votación. Debido al número relativamente menor de nodos en el sistema, la sincronización en el nivel más bajo es más manejable y rápida debido a la menor cantidad de nodos y la proximidad entre ellos, lo que reduce la latencia y mejora el rendimiento del sistema. Sin embargo, es esencial que el número de nodos esté organizado de manera eficiente. Una organización inadecuada podría llevar a sobrecargas que pueden causar latencia significativa, un retraso que podría comprometer la eficiencia del sistema.

El segundo nivel más bajo se compone de una serie de cadenas que almacenan datos que vienen del nivel inferior. En este nivel, la capacidad de la blockchain se utiliza para garantizar la coherencia del sistema. Teniendo en cuenta la población de Turquía (cerca de 85.300.000 personas), se estima que este nivel podría tener alrededor de 700 nodos. Esta estructura trae una mejora significativa en el rendimiento del sistema, ya que el número de nodos conectados disminuye considerablemente. Además, si se aumenta el número de nodos en el segundo nivel o niveles superiores, el rendimiento aumenta exponencialmente. Para un país con más ciudadanos, el número de niveles puede incrementarse para reducir las colisiones entre transacciones, haciendo al sistema escalable (Bulut et al., s. f.).

La comunicación entre niveles debe realizarse periódicamente. Esto implica que habrá un tiempo de espera entre las sincronizaciones de los niveles. Si cada voto se considera instantáneamente, se produciría un gran cuello de botella en el sistema. Por lo tanto, se ha determinado que el tiempo ideal para la sincronización debería ser de 5 minutos para el caso específico de Turquía. Esto significa que cada 5 minutos, cada grupo de nodos enviará los datos de la cadena al nodo de nivel superior (Bulut et al., s. f.).

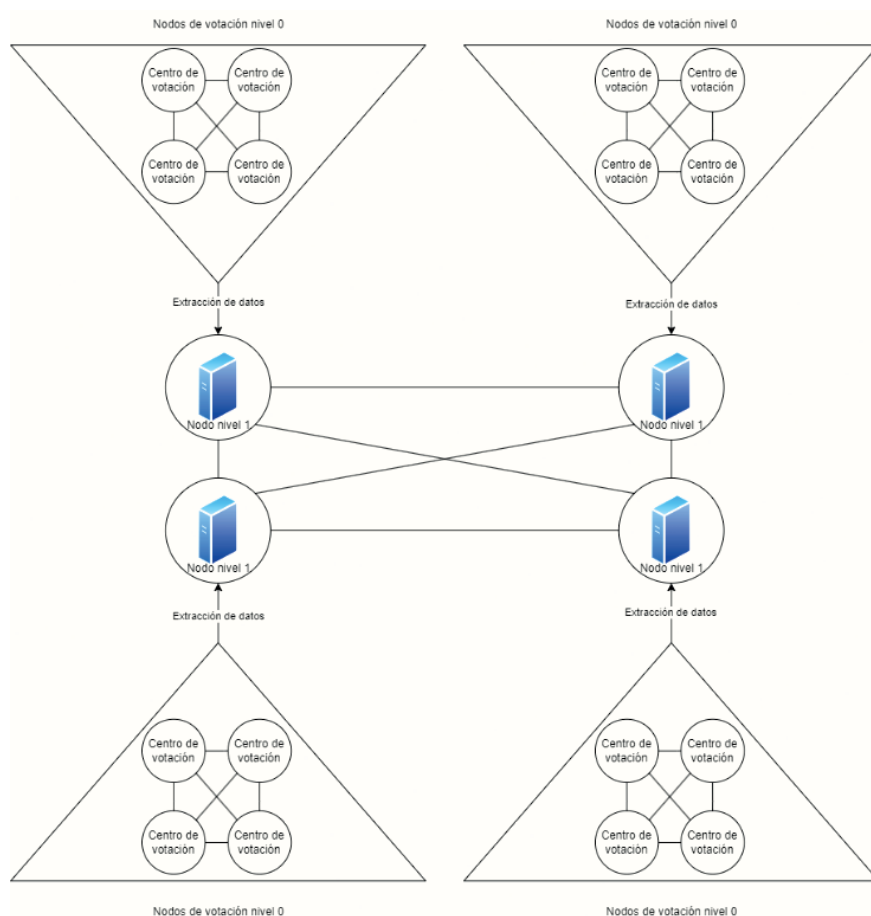
Durante la fase de sincronización, si los datos que llegan al nivel superior desde diferentes máquinas son inconsistentes, se debe manejar con mucho cuidado la información. Si no se puede lograr un consenso sobre

la coherencia de los datos, estos no serán aceptados por el nivel superior y se enviará una señal de “rechazo” al nivel inferior. En este caso, los mismos datos deben enviarse nuevamente al nivel superior. Este proceso continuará hasta que se logre la consistencia, garantizando así la integridad en cada nivel (Bulut et al., s. f.).

Una vez que los datos son aceptados en el nivel superior, los nodos en el nivel inferior sabrán que sus datos han sido aceptados. Esto se debe a que todos los nodos en los niveles inferiores saben que los datos son aceptados si reciben una respuesta afirmativa. Por lo tanto, pueden continuar trabajando con la seguridad de que sus datos han sido registrados y aceptados correctamente (Bulut et al., s. f.).

Una vez que los datos son aceptados y sincronizados, se agregan a la blockchain en el nivel correspondiente. Estos datos se consideran como un bloque de transacción. Todos los nuevos votos se consideran como un grupo de votos y se tratan como un arreglo en términos de ingeniería de software (Bulut et al., s. f.), ver Figura 13.

Figura 13
Arquitectura general del sistema.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). *Adaptado de* (Wu & Lin, 2019)

Otros países que han incursionado en este tipo de sistemas son Rusia, con un sistema que ha sido utilizado por más de dos millones de votantes (Bendovschi, 2020), así como Suiza, que implementó un sistema de votación desarrollado por la empresa Luxoft (Nayak et al., 2021). Además, Alemania ha declarado que el software Polyas cumple con los estándares de seguridad necesarios para ser utilizado en procesos electorales oficiales (Pawlak & Wolsing, 2021).

El uso de blockchain en sistemas de votación representa un avance en la búsqueda de soluciones seguras y transparentes para procesos democráticos. Esta tecnología garantiza la integridad de los datos y reduce la posibilidad de manipulación o fraude electoral. Además, al proporcionar un registro inmutable de cada voto, se promueve la confianza de los ciudadanos en el proceso electoral.

Blockchain en la gestión de datos médicos

En Nayak et al. (2020) se explica cómo la tecnología blockchain puede revolucionar la forma en que se almacenan, acceden y gestionan los registros médicos. En esta sección, se explorarán las propuestas presentadas en dicho documento, destacando cómo la descentralización y la seguridad de la blockchain pueden abordar desafíos comunes en el área de la salud.

La implementación de un sistema basado en blockchain para la gestión de registros médicos requiere un enfoque detallado, ya que los datos a tratar son altamente sensibles. Nayak et al. (2020) proponen una estructura robusta que combina las ventajas de la blockchain con las necesidades específicas del sector salud.

El núcleo de esta implementación es la creación de contratos inteligentes en la blockchain de Ethereum. Estos contratos, conocidos como smart contracts, son protocolos que se ejecutan automáticamente con términos y condiciones codificados previamente (Yildiz & Cakiroglu, 2020). En este contexto, estos contratos inteligentes sirven como representaciones digitales de registros médicos, permitiendo una interacción segura y descentralizada entre pacientes, proveedores de salud y otros actores.

La elección de Ethereum se debe a su flexibilidad y capacidad para albergar aplicaciones descentralizadas (dApps), lo que lo convierte en una opción ideal para este tipo de aplicaciones. Además, Ethereum permite agregar funcionalidades avanzadas como la gestión de permisos, el arbitraje entre múltiples partes y otros aspectos críticos para el manejo de registros médicos.

En este contexto, la blockchain no solo sirve como repositorio de datos, sino también como un medio para gestionar y validar la información.

Cada vez que se realiza una transacción —por ejemplo, al añadir un nuevo registro médico o modificar uno existente— esta acción se registra en un bloque. Una vez verificado por la red, se añade a la cadena, garantizando su inmutabilidad. Esto significa que, una vez que un registro médico se agrega a la blockchain, no puede ser alterado sin dejar un rastro evidente.

Esta característica es especialmente importante en el sector médico, ya que los registros contienen información crítica que, si se altera malintencionadamente, podría afectar gravemente la salud del paciente.

Además, la blockchain utilizada está diseñada para ser privada y permite el control de acceso mediante permisos. A diferencia de blockchains públicas como Bitcoin, en esta los usuarios pueden controlar quién accede a sus registros médicos. Esto se logra mediante contratos inteligentes que definen reglas y permisos específicos por tipo de usuario.

Contratos propuestos:

1) Registrar Contract (RC):

Este contrato global almacena direcciones Ethereum y define reglas para añadir o modificar información. Solo entidades confiables, como hospitales certificados, tienen permisos para hacer cambios. También incluye un enlace hacia el contrato “Summary Contract” (Nayak et al., 2020).

2) Summary Contract (SC):

Sirve como índice o tabla de contenidos para todos los registros médicos de un paciente. Lista todos los acuerdos (PPRs) que tiene con distintos proveedores de salud. Facilita el acceso rápido y unificado a los registros, sin importar el proveedor.

3) Patient-Provider Relationship Contract (PPR):

Es un contrato entre un paciente y un proveedor (como un hospital). Define punteros de datos y permisos de acceso. Cada puntero contiene una cadena de consulta protegida mediante hash, lo que garantiza la integridad de los datos almacenados en la base de datos del proveedor (Nayak et al., 2020).

Figura 14
Ejemplo gráfico de un RC.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de (Curran, 2018)

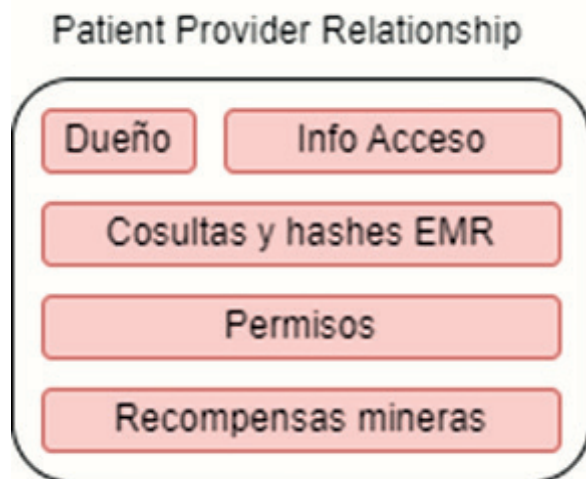
Figura 15
Ejemplo gráfico de un SC.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de (Curran, 2018)

Figura 16

Ejemplo gráfico de un PPR.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de (Curran, 2018)

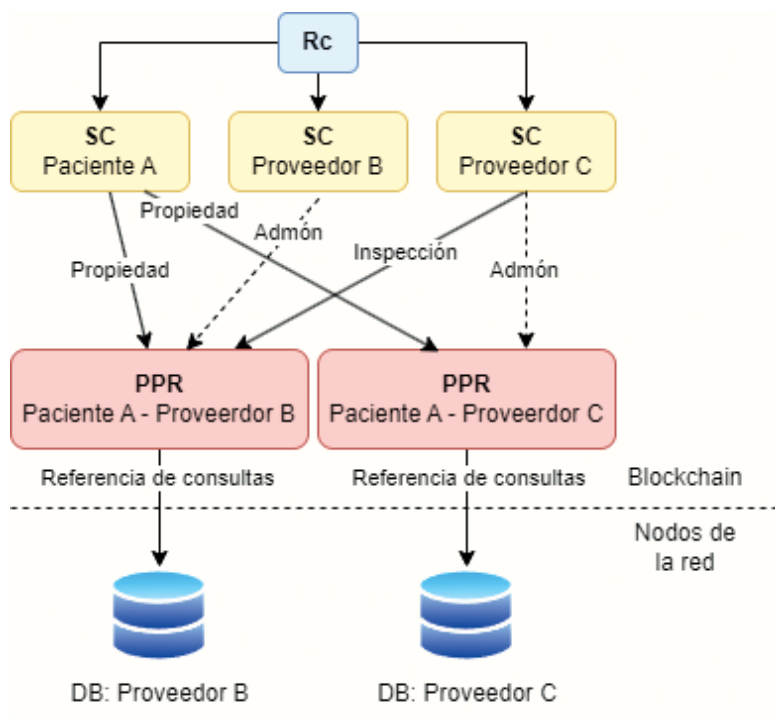
Una vez se conocen los tres contratos, hay que conocer el System Node (nodo del sistema), que consiste en una estructura diseñada para integrarse con la infraestructura de Registros Médicos Electrónicos (EMR). Estos nodos contienen los siguientes componentes (Nayak et al., 2020):

- Backend Library (Biblioteca backend), facilita la comunicación con la blockchain.
- Ethereum Client (Cliente de Ethereum), interactúa directamente con la blockchain.
- Database Gatekeeper (Portero de la base de datos), es una interfaz que regula el acceso a la base de datos local basado en permisos definidos en la blockchain.
- EMR Manager, conecta todos estos componentes y presenta los datos al usuario.

Estos nodos son flexibles y pueden adaptarse tanto a proveedores de atención médica como a pacientes, pudiendo ejecutarse en servidores,

PCs locales o incluso teléfonos móviles. Su diseño modular permite una fácil integración y gestión eficiente de registros médicos en la *blockchain*.

Figura 17
Referencia de datos.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025). Adaptado de Nayak et al. (2020).

CONCLUSIONES

Por medio de este escrito se ha demostrado que blockchain posee un potencial muy grande en múltiples industrias. Entre los más destacados, se encuentran:

Cadena de Suministros: la capacidad de rastrear de manera confiable y segura la procedencia y el manejo de productos a lo largo de toda la cadena de suministros, representa un avance en términos de transparencia y optimización de recursos.

Gobierno Electrónico: la implementación de blockchain en sistemas de votación puede incrementar la confianza en los procesos gubernamentales, reduciendo la posibilidad de corrupción y errores humanos.

Salud: blockchain tiene la capacidad de innovar en el proceso de gestión de registros médicos, permitiendo un sistema más seguro y accesible para el almacenamiento y consulta de información sensible del paciente.

Blockchain es una de las innovaciones más importantes de nuestro tiempo, con la capacidad de transformar la manera en que interactuamos y hacemos negocios. Aunque su asociación con las criptomonedas es algo casi implícito, este escrito ha demostrado que su verdadero valor va más allá, dado que está en la capacidad de ofrecer soluciones descentralizadas, seguras y transparentes en una variedad de campos. A medida que la tecnología evoluciona, es muy probable que se produzca una implementación más amplia en la cotidianeidad, definiendo a la blockchain como el eje de un futuro digital más confiable y eficiente.

REFERENCIAS

Abuidris, Y., Kumar, R., & Wenyong, W. (2019). A survey of blockchain based on e-voting systems. *In ACM International Conference Proceeding Series* (pp. 99–104). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3376044.3376060>

- Appel, A. W. (s.f.). *Verification of a cryptographic primitive: SHA-256*.
- Azaria, A., Ekblaw, A., Vieira, T., & Lippman, A. (2016). MedRec: Using blockchain for medical data access and permission management. *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD)*, 25–30. <https://doi.org/10.1109/OBD.2016.11>
- Bulut, R., Kantarcı, A., Keskin, S., & Bahtiyar, Ş. (s.f.). Blockchain-based electronic voting system for elections in Turkey.
- Chohan, U. W. (2022). *A history of Bitcoin*. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=3047875>
- CoinMarketCap. (2023, noviembre 6). *Precios, gráficos y capitalizaciones de mercado de criptomonedas*. <https://coinmarketcap.com/es/>
- Curran, K. (2018). E-voting on the blockchain. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(2), 1–6. [https://doi.org/10.31585/jbba-1-2-\(3\)2018](https://doi.org/10.31585/jbba-1-2-(3)2018)
- Ghiro, L., et al. (2021). What is a blockchain? A definition to clarify the role of the blockchain in the Internet of Things. *arXiv preprint*. <http://arxiv.org/abs/2102.03750>
- Larrier, J. H. (2021). A brief history of blockchain. In *Transforming scholarly publishing with blockchain technologies and AI* (pp. 85–100). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5589-7.ch005>
- Mettler, M. (2016). *Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here*.
- Nakamoto, S. (s.f.). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <https://www.bitcoin.org>
- Ordóñez, J., Alexopoulos, A., Koutras, K., Kalogeras, A., Stefanidis, K., & Martos, V. (s.f.). Blockchain in agriculture: A PESTELS analysis. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.DOI>
- Qasabeh, Z. T., & Mousavi, S. S. (2022). Blockchain concepts, architecture, characteristics and challenges: A survey. *Azerbaijan Journal of High Performance Computing*, 5(2), 33–51. <https://doi.org/10.32010/26166127.2022.5.1.33.51>
- Tayyebi Qasabeh, Z., & Sajjad Mousavi, S. (2022). Blockchain concepts, architecture, characteristics and challenges: A survey. *Azerbaijan Journal of High Performance Computing*, 5(2), 33–51. <https://doi.org/10.32010/26166127.2022.5.1.33.51>

- Vladucu, M. V., Dong, Z., Medina, J., & Rojas-Cessa, R. (2023). E-voting meets blockchain: A survey. *IEEE Access*, 11, 23293–23308. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3253682>
- Westerkamp, M. (2019). Verifiable smart contract portability. *arXiv preprint*. <http://arxiv.org/abs/1902.03868>
- Wu, X., & Lin, Y. (2019). Blockchain recall management in pharmaceutical industry. *Procedia CIRP*, 83, 590–595. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.094>
- Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2019). *Blockchain technology overview*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>
- Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgueta, S., Chen, H., & Boshkoska, B. M. (2019). Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*, 109, 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>
- “View of Understanding Blockchain Technology: How It Works and What It Can Do.” (s.f.).
- Kshetri, N., & Voas, J. (2018). Blockchain-enabled e-voting. *IEEE Software*, 35(4), 95–99. <https://doi.org/10.1109/MS.2018.2801546>

Inteligencia artificial: un aliado estratégico en el desarrollo de software

Danna Valentina Hernández Pinilla¹

ABSTRACT

La Inteligencia Artificial (IA) ha impactado de manera significativa en casi todos los aspectos de la vida humana en la actualidad. Una de las áreas que más se ha beneficiado de este impacto es el desarrollo de software. La IA ha transformado no solo el modo en que se crean productos y sistemas informáticos, sino también los límites de lo que se puede lograr con ellos. Por lo que se ha convertido en una herramienta indispensable para los desarrolladores que la utilizan, tanto para automatizar tareas rutinarias como para resolver problemas complejos. Este artículo explora la versátil relación entre la IA, ejemplificada especialmente por sistemas como ChatGPT, Bard, Github Copilot, y el campo del desarrollo de software. Examina las ventajas que esta ofrece al proceso de desarrollo, identifica sus posibles desventajas y evalúa el alcance de sus capacidades en este dominio. Asimismo, proporciona sugerencias sobre cómo los desarrolladores pueden aprovecharla de forma eficiente y genera una discusión en torno al futuro de la IA y a las implicaciones éticas que puede llegar a tener su uso.

Palabras clave: Desarrollo de software, Herramientas de inteligencia artificial, Implicaciones éticas, Inteligencia Artificial, Procesos automatizados.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. danna.hernandez@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con el PhD. Juan Francisco Mendoza Moreno.

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) ha tenido un impacto significativo en el proceso de desarrollo de software. Por un lado, ha mejorado la eficiencia al automatizar tareas repetitivas, lo que libera tiempo para la creatividad y la innovación (Nascimento et al., 2023). Por otro lado, ha aumentado la precisión al eliminar errores humanos, lo cual es especialmente valioso en campos como la programación (Muna Abu et al., 2023). No obstante, es importante reconocer las posibles limitaciones de la IA en el desarrollo. Surgen preocupaciones en relación con la privacidad de los datos, ya que ésta a menudo requiere grandes cantidades de información. Además, se plantean cuestiones éticas, como la discriminación algorítmica y la toma de decisiones sin supervisión humana, que presentan desafíos significativos (G. Sison et al., 2023).

Por último, es valioso analizar qué desafíos existen en torno a la implementación de la IA en proyectos de desarrollo de software y cómo los desarrolladores deben entrenarse también para realizar un correcto uso de estas herramientas.

El objetivo de este artículo es explorar cómo puede utilizarse la IA como una herramienta para mejorar el desarrollo de software, conocer cuáles son las herramientas más reconocidas en este momento, analizar qué áreas son las más beneficiadas, algunas de sus desventajas, cuáles son las implicaciones éticas que tiene el uso de estas herramientas y finalmente generar discusión respecto de cuál es el futuro de esta tecnología en el desarrollo de software.

Se espera que los hallazgos de esta investigación no solo contribuyan al conocimiento existente en el campo de la IA y el desarrollo de software, sino que también aporten nuevas perspectivas y enfoques innovadores.

ESTADO DEL ARTE

Para establecer el estado del arte se realizó una consulta mediante la base de datos Scopus (Scopus, 2023). Las cadenas de búsqueda aplicadas en su orden fueron:

Tabla 1
Cadenas de búsqueda – Scopus.

Cadena de búsqueda	Resultados
(TITLE-ABS-KEY ((artificial AND intelligence OR “IA” OR “AI”) AND “software” AND (“software development” OR “Software Engineering”)) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024) AND (LIMIT-TO (OA , “all”)) AND (EXCLUDE (PUBSTAGE , “aip”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “COMP”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENGI”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , “English”) OR LIMIT-TO (LANGUAGE , “Spanish”))	913
(TITLE-ABS-KEY ((artificial AND intelligence OR “IA” OR “AI”) AND “software” AND (“software development” OR “Software Engineering”))) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2025)AND (LIMIT-TO (OA, “all”)) AND (EXCLUDE (PUBSTAGE, “aip”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, “COMP”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA, “ENGI”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, “English”) OR LIMIT-TO (LANGUAGE, “Spanish”)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, “ar”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, “cp”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, “re”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, “bk”))	896

Nota. Elaboración propia (2025).

Tras obtener la base de datos de los artículos arrojados por la búsqueda, se realizó un análisis desde la aplicación VOSViewer (VOSviewer, 2023) para determinar las agrupaciones (clusters) de esta literatura científica. En la siguiente sección se presentan los principales clústers identificados

CLÚSTER

Clúster 1 - Desarrollo de Software:

Este clúster reúne un conjunto de documentos científicos que principalmente tratan temas de ingeniería de software, tales como el ciclo de vida del desarrollo de software, los requerimientos, sistemas autónomos y cómo la IA puede contribuir en estos procesos como lo señalan en (van Remmen et al., 2023).

Clúster 2 – Aprendizaje Automático:

Este clúster nos resalta áreas más específicas como Deep learning, Internet of Things, Learning systems, application programs. Desde luego, todas están relacionadas con la inteligencia artificial. Con todos los datos que se generan y su crecimiento exponencial temas como Big data y data analytics toman gran relevancia (Biesialska et al., 2020).

Clúster 3 – Algoritmos de aprendizaje:

En los últimos meses, ha surgido un conjunto de investigaciones que ha ganado relevancia. Estas investigaciones se enfocan en el aprendizaje autónomo, el procesamiento de lenguaje natural, la minería de datos y temas relacionados. Este grupo de estudios ha capturado la atención debido a su importancia en el campo. (Siddiqui & Abdullah Amer, 2023).

Clúster 4 – Educación:

Una de las áreas que más investigación ha tenido en relación con la IA es la educación, donde emergen artículos relacionados con temas de educación en la Ingeniería, cómo implementarla y sacarle provecho como lo indican (Bull & Kharrufa, 2023) y cómo la IA puede ser una herramienta para potenciar el aprendizaje.

VISUALIZACIÓN DE DENSIDAD

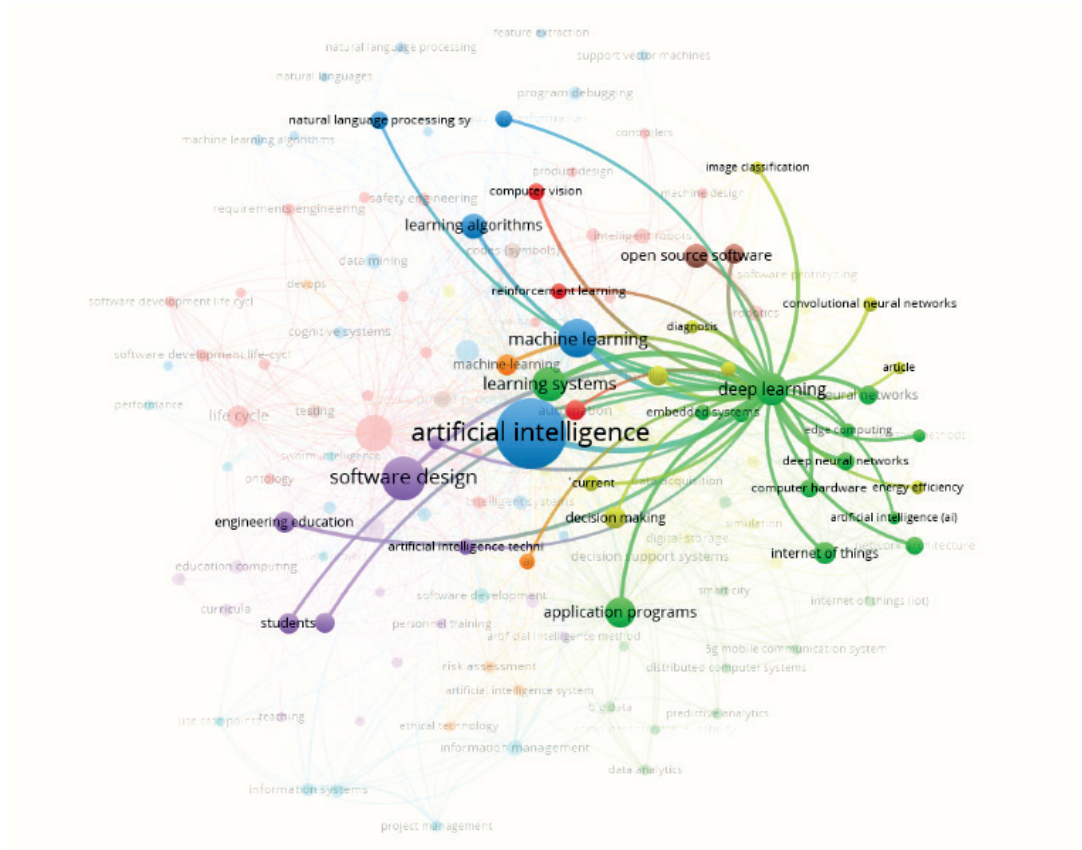
Visualizar el gráfico de densidad, permite analizar cuáles son los temas de mayor relevancia en la actualidad y, por tanto, aquellos que despiertan mayor interés en la comunidad.

Se pueden visualizar claramente cómo los temas de mayor interés son la inteligencia artificial, aprendizaje automático, sistemas de aprendizaje, algoritmos de aprendizaje, aprendizaje profundo e incluso diseño de software.

Por otra parte, algunos temas van cobrando fuerza tales como redes neuronales, internet de las cosas, procesamiento de lenguaje natural, que indican que pueden llegar a ser temas en tendencia a futuro.

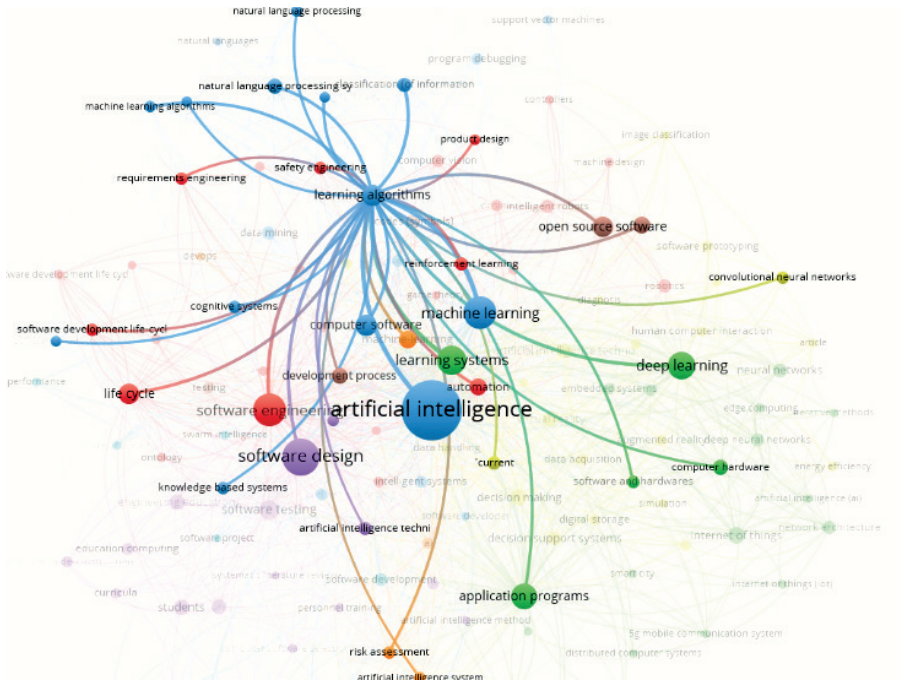
A través de un exhaustivo análisis cuantitativo y bibliométrico (Hood & Concepción S, 2001), se han logrado identificar las áreas que actualmente capturan la atención de la comunidad científica. Sin lugar a duda, la inteligencia artificial se posiciona como el epicentro de numerosas investigaciones en la actualidad. Asimismo, temas estrechamente relacionados como el aprendizaje profundo (Deep Learning) y el aprendizaje automático (Machine Learning) han experimentado un notable auge y están entrelazados de manera significativa con este campo.

Figura 2
Visualización en red Clúster 2 – Aprendizaje automático.



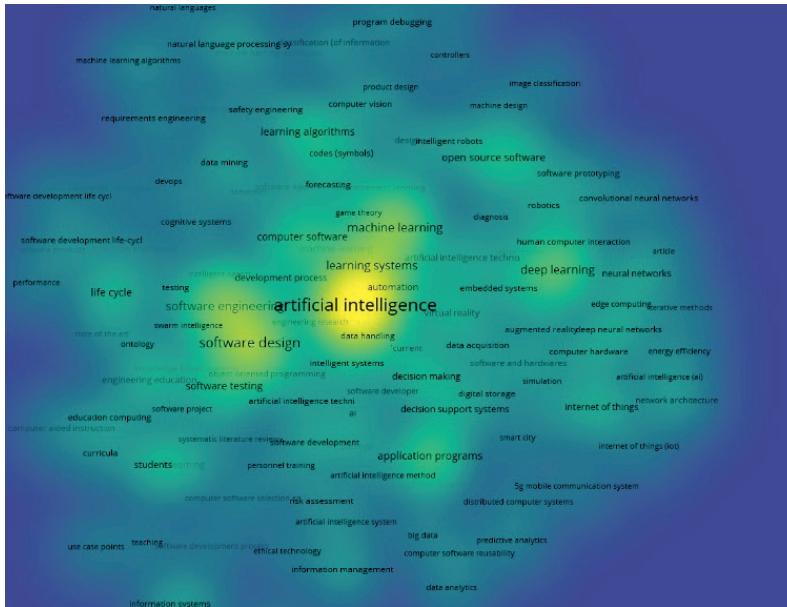
Nota. Visualización generada con VOSviewer – Aprendizaje automático. Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 3
Visualización en red Clúster 3 – Algoritmos de aprendizaje.



Nota. Visualización generada con VOSviewer – Algoritmos de aprendizaje. Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 5
Visualización de densidad.



Nota. Visualización de Densidad - representa la concentración y relevancia de términos clave asociados al campo de la inteligencia artificial en publicaciones académicas. Fuente: Elaboración propia (2025).

Con el surgimiento de herramientas como ChatGPT o Google Bard el procesamiento de lenguaje natural es una tendencia que se puede notar y que seguramente generará mayor interés en los próximos meses.

Todos estos temas están relacionados con el desarrollo de software, pues son áreas más específicas de esta disciplina y que pueden llegar a optimizarse o a contribuir en la mejora de otras con el uso de herramientas de IA.

PRINCIPALES HERRAMIENTAS Y MODELOS DE IA USADOS PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE

La IA ha experimentado un auge significativo en las últimas décadas, transformando múltiples dominios y sectores, incluido el desarrollo de software. En esta sección, se explorarán las herramientas y modelos de IA más destacadas que están transformando el ámbito del desarrollo de software.

En la siguiente tabla, se resumen las herramientas más reconocidas en la actualidad que resultan útiles para optimizar el desarrollo de software.

Tabla 2
Herramientas de IA para optimizar el desarrollo de software.

Nombre	Tecnología que emplea	Uso en el área de desarrollo de software
ChatGPT	Usa la arquitectura de red neuronal “transformer”, específicamente el modelo GPT	Asistente de programación, generación de documentación, detección de errores.
Google Bard	Usa LaMDA, que significa “Modelo de lenguaje para aplicaciones de diálogo”. LaMDA es un modelo de lenguaje transformador entrenado en un conjunto de datos masivo de texto y código.	Generación de código, documentación de código, análisis de código, generación de pruebas.
Github Copilot	Alimentado por el modelo Codex de OpenAI, que es una variante de GPT-3 entrenada específicamente con código fuente.	Autocompletado de código, generación de documentación, generación de pruebas.
Tabnine	Tabnine se ha popularizado especialmente después de integrar modelos de lenguaje desarrollados por OpenAI, específicamente GPT-3.	Autocompletado de código, reducción de errores.
Blackbox	Inteligencia artificial.	Autocompletado de código, documentación, generación de código, detección de errores.

Nota. Elaboración propia (2025).

Para una comprensión más profunda del contexto, es esencial definir los siguientes términos:

Transformador: Un modelo Transformer o transformador es una estructura de red neuronal que aprende el contexto y, por ende, el significado al seguir las relaciones en datos secuenciales, como las palabras en esta misma frase. (Merritt, 2022)

Arquitectura del Transformador: Es una innovación en el diseño de redes neuronales presentada en el artículo, “Attention Is All You Need” (Vaswani et al., 2017). Esta estructura se destaca por su capacidad para manejar secuencias de datos mediante mecanismos de atención, lo que le permite capturar relaciones contextuales entre elementos de una secuencia, independientemente de su distancia relativa. La arquitectura del transformador ha revolucionado el campo del procesamiento del lenguaje natural (NLP) debido a su eficiencia y flexibilidad.

GPT (Generative Pre-trained Transformer): GPT, o Generative Pre-trained Transformer, es un modelo de lenguaje desarrollado por OpenAI basado en la arquitectura del transformador. Se caracteriza por su enfoque de dos etapas: primero, se pre-entrena en grandes cantidades de texto para aprender representaciones lingüísticas generales, y luego, se reajusta (fine-tuning) para tareas específicas. (Radford et al., 2018). GPT ha ganado notoriedad por su capacidad para generar texto de manera coherente y fluida, y ha establecido estándares de referencia en diversas tareas de procesamiento del lenguaje natural.

LaMDA: Es una tecnología de lenguaje creada por Google que busca facilitar conversaciones naturales y abiertas entre máquinas y humanos. LaMDA permite interacciones más ricas y prolongadas, a diferencia de otros modelos que se limitan a dominios o tareas específicas. Su diseño se centra en la capacidad de producir respuestas que no solo sean correctas, sino que también sean interesantes para el usuario y contextualmente relevantes como afirman en (Thoppilan et al., 2022)

Estas herramientas son las más conocidas actualmente, por lo general, se usan a modo de chatbot de tal manera que el desarrollador debe iniciar una conversación con la IA, suministrando la información necesaria para obtener la respuesta deseada. Sin embargo, es importante desta-

car que estas herramientas no están exentas de errores, y que, pese a que son muy poderosas y pueden llegar a entregar resultados muy precisos, las sugerencias proporcionadas deben ser revisadas y consideradas por el desarrollador para asegurarse de que sean adecuadas y correctas en el contexto específico en el que se están utilizando.

POTENCIANDO EL DESARROLLO DE SOFTWARE CON IA

Dentro del ámbito del desarrollo de software, la IA no es solo una característica adicional, sino una revolución que promete transformar la forma en que se conciben, diseñan y mantienen las aplicaciones. En esta sección se exploran las múltiples facetas en las que la IA, a través de herramientas como ChatGPT, Google Bard, Github Copilot o Blackbox, pueden optimizar o mejorar los procesos tradicionales de desarrollo.

Generación de código

Estas herramientas, según el estudio de (Singh Gil & Kaur, 2023), poseen la habilidad de examinar con detalle un requerimiento y posteriormente ofrecer una recomendación de solución adecuada, teniendo en cuenta normas de código, dependiendo el lenguaje y buenas prácticas.

DOCUMENTACIÓN

Como sostiene (R. Sadik et al., 2023) estas herramientas pueden identificar patrones y contextos en el código, para proporcionar documentación precisa y coherente. La capacidad de estas herramientas para analizar y comprender el código a un nivel profundo puede ayudar a garantizar que la documentación generada sea relevante y útil, reduciendo la carga para los desarrolladores y mejorando la calidad y mantenibilidad del código.

Depuración y testeo: ChatGPT ha demostrado ser una herramienta eficaz para identificar y corregir errores en el código, una característica destacada es su capacidad para interactuar con los usuarios. Esto significa que los desarrolladores pueden proporcionarle información adicional o contextos específicos, lo que puede ayudarle a entender mejor y solu-

cionar problemas más complejos en el código, como indican los autores en “Methods and Applications of ChatGPT in Software Development: A Literature Review” (Muna Abu et al., 2023) quienes además, indican que un desarrollador podría integrar las fortalezas de esta herramienta, con las de otras como Github copilot, Blackbox etc, para identificar y resolver errores de forma más eficaz, lo que puede ayudar a hacer el proceso más óptimo y rápido.

Por otro lado, la IA puede también ser útil para ayudar a validar y testear código, generando diferentes escenarios, incluso casos de borde o automatizados en poco tiempo, debido a su capacidad de comprender distintos lenguajes de programación y metodologías como indican (Shastri Pothukuchi et al., 2023)

La capacidad de la IA para mejorar u optimizar los procesos del desarrollo de software, no es solo una promesa como recién se analizó. Si no que es una realidad que está reconfigurando la forma en que se aborda la ingeniería y el desarrollo de software en general. No obstante, aunque el avance de estas tecnologías ha sido exponencial, aún el toque humano, la empatía, creatividad e intuición siguen siendo irremplazables, por lo que estas herramientas se deben tomar más como una extensión de las habilidades que el ser humano posee, que permiten elevar la calidad y la eficiencia de lo que construye.

LIMITACIONES DE LA IA EN EL DESARROLLO DE SOFTWARE

A pesar de que la IA puede potenciar significativamente el proceso de desarrollo de software, es esencial que se reconozcan sus limitaciones. Al comprender estas restricciones, no solo se pueden maximizar las ventajas de estas herramientas, sino también prevenir un uso inapropiado. Entre las limitaciones más notables, se pueden destacar:

Copyright: A medida que las IA generan código basado en grandes conjuntos de datos, surge la preocupación sobre los derechos de ese contenido generado y cómo se respeta el copyright de los datos originales utilizados para entrenar estos modelos. Por ejemplo, Github Copilot ha generado debates sobre la propiedad intelectual del código que

genera como indican (Zahrah Choksi & Goedicke, 2023). Asimismo, herramientas de IA como ChatGPT generan respuestas basándose en bibliotecas de código abierto. Esto conlleva a plantear la preocupación sobre si se está “robando” el contenido, lo cual podría tener implicaciones en términos de copyright (Ioannidis et al., 2023) **Entendimiento del Contexto:** Un prompt es una instrucción, pregunta o un texto que se utiliza para interactuar con sistemas de inteligencia artificial. Podríamos decir que es como un comando, con el que vas a pedirle a este sistema que realice una tarea concreta” (Fernández, 2023). Si bien con un buen prompt estas herramientas pueden llegar a brindar respuestas de calidad, no siempre entienden completamente el contexto, especialmente en proyectos de software muy complejos con múltiples archivos, por lo que, generar código que encaje perfectamente con los demás componentes, es todo un reto y quizá requiera de correcciones manuales (Wahyu, 2023).

Errores y vulnerabilidades: El código generado por las IA puede contener errores o bugs, si la fuente o los datos en los que se basó, los tienen también (Bull & Kharrufa, 2023). Además, existe la posibilidad de que el código contenga vulnerabilidades. Por ejemplo, (Cotroneo et al., 2023) exploraron la seguridad de estas herramientas generadoras de código basados en IA, a través de ataques de envenenamiento de datos, en los que inyectaron algunas muestras maliciosas en los datos de entrenamiento para generar código vulnerable. Este análisis, reveló que estos generadores son susceptibles incluso a pequeñas cantidades de envenenamiento, lo que puede llegar a ser peligroso.

Por otro lado, como concluyen en (Perry et al., 2022), los desarrolladores que usan asistentes de IA en la construcción de aplicaciones creen estar escribiendo código más seguro cuando no lo es. En cambio, aquellos que confiaban menos en la IA y se comprometían más con la documentación y el formato del lenguaje, proporcionaban un código con menos vulnerabilidades.

Alucinación: Uno de los problemas que puede llegar a tener el uso de la IA, es que se presume que estas pueden “Alucinar”. Es decir, que pueden crear respuestas que no son verdaderas ni lógicas (Shastri Pothukuchi et al., 2023). Es esencial reconocer que, aunque estas herramientas brindan capacidades y asistencia en diversas tareas, poseen limitaciones y desafíos. Desde errores y vulnerabilidades hasta cuestiones de derechos de autor y alucinaciones, la IA puede tener consecuencias

que, de no ser gestionadas adecuadamente, podrían afectar la integridad de los proyectos donde se aplica. Los desarrolladores tienen el deber, no solo de estar al tanto de estas limitaciones, sino también de actuar con prudencia al emplearlas. Si se utiliza de manera consciente y adecuada, indudablemente se convertirá en un valioso aliado en las distintas etapas del desarrollo de software.

IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA IA

El análisis realizado por (Nascimento et al., 2023) subraya diversas cuestiones éticas a considerar, al emplear sistemas de inteligencia artificial en la creación de software. Estas incluyen aspectos no funcionales como la eficiencia en el uso de energía, pues señalan que se calcula que ChatGPT consume el equivalente a la electricidad que consumen 175.000 personas en Dinamarca al mes (Sarro, 2023); vulnerabilidades, como se encontró en el estudio de (Pearce et al., 2022) que investigó el uso de IA y observó que el 40% del código generado contiene vulnerabilidades.

Como resaltan (Akbarighatar et al., 2023) existe la necesidad de emplear de manera consciente los sistemas de IA, considerando los potenciales efectos negativos de la misma. También, es esencial enforzarse en la creación de estructuras que orienten el desarrollo y la aplicación de la ética en la tecnología de IA. No obstante, ha habido un progreso significativo en la documentación sobre varios principios de la IA ética, tales como la claridad, justicia, seguridad, confiabilidad, transparencia y responsabilidad.

DISCUSIÓN

En el contexto de la creciente adopción de la IA en el desarrollo de software, es esencial considerar cuidadosamente también en qué tipo de sistemas se involucra esta tecnología, especialmente en casos donde la IA puede tener un impacto crítico, como por ejemplo en los sistemas operativos, sistemas militares, sistemas de salud, entre otros.

La implementación de la IA en estos ámbitos plantea preocupaciones en términos de seguridad y responsabilidad, ya que la autonomía de las máquinas y la toma de decisiones en situaciones críticas pueden ser temas delicados para la integridad física y moral de las personas, su reputación, para aspectos legales y jurídicos o para influenciar masas en tomas de decisiones.

En situaciones de decisiones importantes están en juego el discernimiento ético, riesgos de sesgo, discriminación y rendición de cuentas. En tanto que, al tomar una decisión, la IA puede cometer errores, porque, aunque la respuesta sea lógica, puede ser moral o éticamente cuestionable y es ahí donde la cuestión de la responsabilidad se vuelve más compleja, pues surgen preguntas como ¿Quién es responsable si algo sale mal debido a una decisión de una IA? Acaso el responsable es ¿el desarrollador, el propietario del sistema o la misma IA?

Es también importante cuestionarse cómo será el rol que deben jugar los desarrolladores ¿La construcción de software será igual que ahora? ¿Los programadores escribirán desde la primera hasta la última línea de código? O más bien se convertirán en “ensambladores”, puesto que, con la implementación de IA, el rol que se desempeña tiende a ir más hacia el saber qué y cómo adaptar el código que genere la IA de acuerdo con los requerimientos del proyecto en el que se implementa. Seguramente roles como DevOps se van a intensificar en tanto que se requerirá de quienes diseñen, implementen y mantengan estos sistemas.

De igual manera aún está el reto de identificar qué técnicas o metodologías se pueden emplear para la identificación de la fuente de cualquier producto generado por IA de tal forma que, de existir alguna implicación forense, legal o jurídica, se sepa diferenciar si un producto fue generado por un humano o por una IA.

Todo este tema, requiere de un enfoque cuidadoso en el que se logren fijar lineamientos éticos y regulaciones para poder implementarse de la manera más segura y responsable posible, de acuerdo con los principios éticos que la sociedad se haya planteado.

CONCLUSIONES

El artículo destaca el papel fundamental que desempeña la IA como una herramienta para potenciar el desarrollo de software, pues a lo largo de las secciones que se analizaron, se ha demostrado su capacidad para mejorar y optimizar procesos en el desarrollo. No obstante, es crucial recordar que estas herramientas no están exentas de errores, por lo que se debe ejercer de manera prudente en su uso.

De acuerdo con los documentos analizados, la IA no pretende reemplazar al ser humano, sino más bien complementar sus habilidades, elevando la calidad y eficiencia en la construcción o desarrollo de software, de tal forma que se satisfaga los requerimientos funcionales y no funcionales de cualquier proyecto de software.

Además, también se hace hincapié en la importancia de conocer las implicaciones éticas que están asociadas al uso de la IA en el desarrollo de software. Pues quienes la implementan tienen la responsabilidad de considerar aspectos como derechos de autor y posibles consecuencias negativas como “alucinaciones” de la IA o respuestas falsas y vulnerabilidades en el código proporcionado. De tal manera que la ética debe ser también un tema fundamental, garantizando que estas herramientas se utilicen de manera consciente y adecuada para el beneficio de la sociedad en general.

La inteligencia artificial está aquí como un aliado para los desarrolladores, capaz de impulsar la innovación y la eficiencia en el trabajo que se realiza a diario. Permite automatizar tareas, liberando así al desarrollador de la carga de trabajo repetitivo y brindándole más tiempo para dedicarse a actividades relacionadas con el análisis, la creatividad y otros aspectos que requieren la intervención humana. Esto, a su vez, contribuye a aumentar la productividad de manera significativa.

REFERENCIAS

- Akbarighatar, P., Pappas, I., & Vassilakopoulou, P. (2023). A sociotechnical perspective for responsible AI maturity models: Findings from a mixed-method literature review. *International*

- Journal of Information Management Data Insights*. <https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2023.100193>
- Biesialska, K., Franch, X., & Muntés-Mulero, V. (2020). Big data analytics in Agile software development: A systematic mapping. *Information and Software Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106448>
- Bull, C., & Kharrufa, A. (2023). Generative AI assistants in software development education. (*Manuscript in preparation or unpublished work – incluir nombre de revista si aplica*)
- Cotroneo, D., Improta, C., Liguori, P., & Roberto, N. (2023). Vulnerabilities in AI code generators: Exploring targeted data poisoning attacks. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.04451>
- Fernández, Y. (2023, septiembre 14). Qué es un prompt y por qué son tan importantes para usar la inteligencia artificial. *Xataka*. <https://www.xataka.com/basics/que-prompt-que-importantes-para-usar-inteligencia-artificial>
- G. Sison, A. J., Daza, M. T., Gozalo-Brizuela, R., & Garrido-Merchán, E. (2023). ChatGPT: More than a “weapon of mass deception” – Ethical challenges and responses from the human-centered artificial intelligence (HCAI) perspective. *arXiv*. <http://arxiv.org/abs/2304.11215>
- Hood, W., & Wilson, C. (2001). The literature of bibliometrics, scientometrics, and informetrics. *Scientometrics*, 52(2), 291–314.
- Ioannidis, D., Kepner, D. J., Bowne, D., & Harriet, S. (2023). Are ChatGPT and other similar systems the modern Lernaean Hydras of AI? *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.09267>
- Merritt, R. (2022, marzo 25). What is a transformer model? *NVIDIA Blog*. <https://blogs.nvidia.com/blog/2022/03/25/what-is-a-transformer-model/>
- Muna Abu, J., Beganovic, A., & Abd Almisreb, A. (2023). Methods and applications of ChatGPT in software development: A literature review. *Southeast Europe Journal of Soft Computing*, 12(1).
- Nascimento, N., Alencar, P., & Cowan, D. (2023). Comparing software developers with ChatGPT: An empirical investigation. *arXiv*. <http://arxiv.org/abs/2305.11837>
- Pearce, H., Ahmad, B., Tan, B., Dolan-Gavitt, B., & Karri, R. (2022). Asleep at the keyboard? Assessing the security of GitHub Copilot’s code contributions. In *2022 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)* (pp. 754–768). IEEE.

- Perry, N., Srivastava, M., Kumar, D., & Boneh, D. (2022). Do users write more insecure code with AI assistants? *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.03622>
- Sadik, A. R., Ceravola, A., Joubin, F., & Patra, J. (2023). Analysis of ChatGPT on source code. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.00597>
- Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). Improving language understanding by generative pre-training. (*OpenAI Technical Report*).
- Sarro, F. (2023). Automated optimisation of modern software system properties. In *Proceedings of the 2023 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering* (pp. 3–4). ACM.
- Scopus. (2023). *Elsevier*. <https://www.elsevier.com/es-es/solutions/scopus>
- Shastri Pothukuchi, A., Vasuda Kota, L., & Mallikarjunaradhya, V. (2023). Impact of generative AI on the software development life cycle (SDLC). *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 11. <http://www.ijcrt.org>
- Siddiqui, T., & Abdullah Amer, A. (2023). A comprehensive review on text classification and text mining techniques using spam dataset detection. In *Mathematics and Computer Science*, 2.
- Singh Gil, S., & Kaur, R. (2023). ChatGPT: Vision and challenges. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.05.004>
- Thoppilan, R., De Freitas, D., Hall, J., Shazeer, N., Apoorv, K., & Cheng, H.-T. (2022). LaMDA: Language models for dialog applications. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.08239>
- Van Remmen, J. S., Horber, D., Lungu, A., Chang, F., van Putten, S., Goetz, S., & Wartzack, S. (2023). Natural language processing in requirements engineering and its challenge for requirements modelling in the engineering design domain. In *Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED23)*. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.277>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- VOSviewer. (2023). *VOSviewer – Visualizing scientific landscapes*. <https://www.vosviewer.com>

- Wahyu, R. (2023). ChatGPT for software development: Opportunities and challenges. *TechRxiv*. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.23993583.v1>
- Zahrah Choksi, M., & Goedicke, D. (2023). Whose text is it anyway? Exploring BigCode, intellectual property, and ethics. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.02839>

Inteligencia artificial y transhumanismo: convergencias y dilemas bioéticos

Juan Manuel Gutiérrez Gómez¹

RESUMEN

En este artículo, se exploran las complejas intersecciones entre la inteligencia artificial (IA) y el transhumanismo, centrándose en las contribuciones clave de la IA en la última década y sus implicaciones bioéticas. Desde avances en la IA débil hasta la perspectiva de la singularidad tecnológica, se examina cómo estas innovaciones están transformando la condición humana. El estudio aborda preocupaciones éticas, como la autonomía individual frente a la dependencia de la IA, los riesgos de discriminación y desigualdad en la era transhumanista, y las tensiones entre los ideales transhumanistas y las creencias religiosas. Se concluye destacando la necesidad de regulaciones éticas para garantizar un acceso equitativo a estas tecnologías y subrayando la importancia continua de la reflexión bioética en este ámbito en constante evolución.

Palabras Clave: transhumanismo, inteligencia artificial, bioética, singularidad tecnológica, mejoramiento humano.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. juanm.gutierrezg@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con el PhD. Juan Francisco Mendoza Moreno.

INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial (IA) se encuentra en uno de los momentos más importantes de su historia. El mundo como lo conocemos hoy en día es una manifestación del ingenio humano para construir sistemas altamente eficientes. Marvin Minsky (1927–2016), científico pionero en inteligencia artificial define a la IA como la capacidad que tienen las máquinas y sistemas informáticos para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana (Sheikh, Prins, & Schrijvers, 2023). Los enfoques de la IA son muchos, pero se cree que su núcleo son las teorías de investigación, los métodos, las tecnologías y las aplicaciones para simular, extender y expandir la inteligencia humana (Jiang et al., 2022). Su importancia trasciende a tal punto que es imposible pensar en un mundo en el que no haya presencia de dispositivos que funcionen con tecnologías inteligentes. Los procesos que antes eran llevados a cabo por sistemas manuales han sido automatizados con la llegada de la IA y han servido a la sociedad para avanzar a un ritmo acelerado.

Hace un par de décadas era impensable que los humanos llegaran a desarrollar modelos de inteligencia artificial que fueran capaces de aprender por sí solos, lo que actualmente es una realidad. Aunque suene exagerado, cada aspecto de nuestras vidas ha sido modelado por la tecnología desde que esta se estableció en la sociedad. Basta con mirar a nuestro alrededor para evidenciar que vivimos en un mundo tecnológicamente dependiente. Si comparamos la sociedad del siglo pasado con la de hoy, nos damos cuenta del gran salto evolutivo que ha tenido la humanidad. La necesidad inherente al ser humano de progresar, de avanzar y de ir más allá de los límites nos llevó a encontrar en la tecnología una manera de facilitar la vida a las personas. Es por esta razón que ya no se habla únicamente de una evolución biológica, sino tecnológica (Wilkinson, 2010).

El transhumanismo es un movimiento intelectual y cultural que busca guiar la mejora de la condición humana mediante la tecnología (Thompson, 2017). El discurso transhumanista afirma que se puede encaminar la evolución humana hacia una evolución tecnológica. De acuerdo con Ross (2020), “el transhumanismo es el término colectivo para el rango de pensamiento tecnocéntrico que converge en la conveniencia de una mejora humana radical”. Sin embargo, el transhumanismo inicialmente se planteó como una ideología del perfeccionamiento de las facultades

fisiológicas y psíquicas del hombre. La idea del transhumanismo nació gracias a Julian Huxley (1887–1975), biólogo evolutivo, humanista y eugenista internacionalista británico, quien adoptó el término por primera vez en su obra *Religion Without Revelation* (1927). El objeto de las reflexiones filosóficas de Huxley siempre estuvo centrado en un humanismo científico; originalmente lo denominó “humanismo evolutivo”, que fue el origen conceptual del transhumanismo (Ferrando, 2020).

Desde que se plantearon las primeras ideas sobre el transhumanismo en la década de 1950 y a medida que fueron pasando los años, muchos cambios revolucionarios a nivel tecnológico moldearon la visión transhumanista del humano mejorado hasta llegar al punto en el que nos encontramos. Ya no se trata de una mejora impulsada por tecnologías utópicas para alcanzar escenarios idealizados como los que planteaba Huxley en sus obras. Ahora, gracias al progreso tecnocientífico, las visiones transhumanistas parecen ser alcanzables y realizables en relación con lograr el objetivo de superar las limitaciones humanas (como la muerte o el envejecimiento), o lo que, según expertos en el tema, son errores biológicos que pueden ser corregidos (Diéguez, 2017).

La IA es uno de los conceptos más fascinantes y prometedores para la transformación tecnológica transhumanista. Según Bostrom (2011), filósofo transhumanista, cofundador de Humanity Plus (anteriormente la Asociación Transhumanista Mundial) y autor de muchos tratados sobre inteligencia artificial y transhumanismo, los avances de tecnologías de carácter revolucionario como la IA podrían transformar radicalmente la condición humana. Desde décadas atrás, la IA ya empezaba a mostrar signos de prosperidad entre la comunidad tecnocientífica. No obstante, en sus inicios, la idea resultaba arriesgada para los financiadores de sus desarrollos, principalmente por la incertidumbre que generaba saber si las tecnologías o aplicaciones se iban a poder aterrizar rápidamente (Jiang et al., 2022). Afortunadamente, con el pasar de los años, los avances importantes en la computación, el big data y los algoritmos potenciaron los desarrollos de la IA y, posteriormente, su auge. Por tal motivo, el transhumanismo encuentra en la IA la oportunidad perfecta para lograr sus objetivos, los cuales se basan principalmente en el mejoramiento de la calidad de vida y las capacidades intelectuales y físicas de los seres humanos, para así finalmente poder llevar la condición humana a un nivel superior sin precedentes.

La mejora humana propuesta por el transhumanismo plantea varios desafíos éticos, en este caso relacionados con la forma en la que los humanos se relacionan con la tecnología. La IA está involucrada en todas las áreas de la vida humana, por lo que entran en discusión temas sobre la autonomía, los valores y la moralidad de los sistemas artificiales inteligentes. Por esta razón, cuando se trata de la relación humano-IA, con frecuencia se habla más de “bioética”. La bioética puede definirse como la “ética de la vida” (Pontigo & Villegas-Delgadillo, 2020). Se trata de una rama de la ética que se ocupa de los dilemas relacionados, generalmente, con el ámbito de la biología, la medicina y la tecnología.

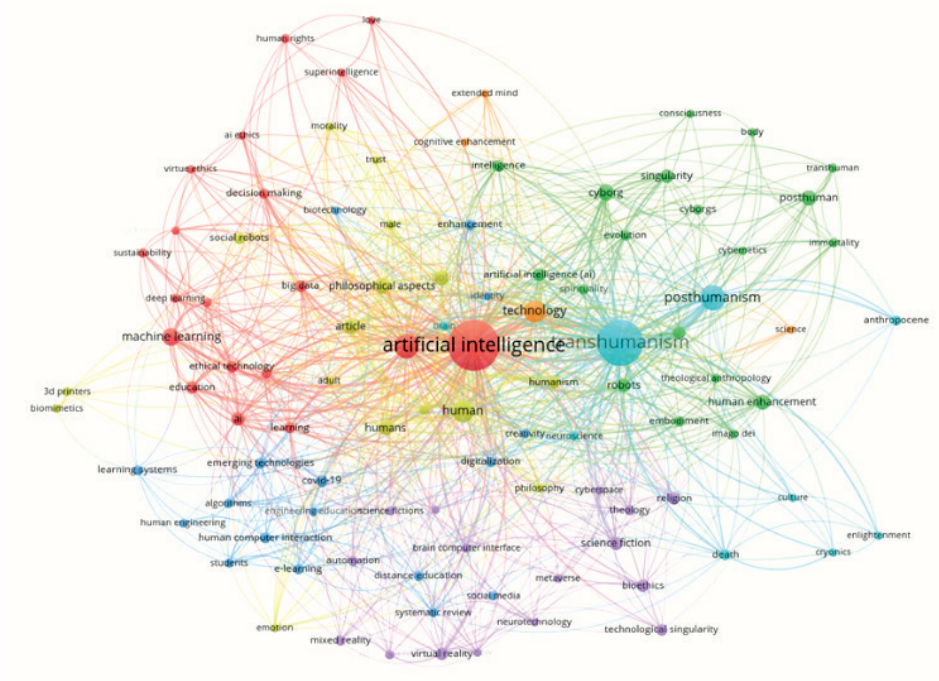
Con la aparición de la IA, los seres humanos enfrentan un nuevo desafío al establecer vínculos con algo que carece de naturaleza intrínseca. A lo largo de la historia, los humanos han inventado diversas cosas, pero nunca se habían planteado éticamente cómo interactuar con su propia creación. La IA en sí misma carece de emociones o personalidad. Sin embargo, los transhumanistas son optimistas y creen que, con la tecnología actual, es posible crear seres artificiales dotados de capacidades cognitivas superiores a las humanas (Humanity+, 2023). Como consecuencia, los eticistas, algunas religiones y parte de la comunidad científica han hecho mucho énfasis a lo largo de los años sobre las precauciones que deben tomarse con la IA, por su gran potencial para redefinir la concepción de lo humano: “La humanidad será radicalmente cambiada por la tecnología en el futuro. Se prevé la viabilidad de rediseñar la condición humana, incluidos parámetros tales como la inevitabilidad del envejecimiento, las limitaciones de los intelectos humanos y artificiales, la psicología no elegida y el sufrimiento” (Wilkinson, 2010).

Desde esta perspectiva, se entiende que la inteligencia artificial puede tener un impacto negativo en los seres humanos y en la sociedad. Por lo tanto, se vuelve crucial establecer una bioética específica para la IA que asegure que no se desvíe de su propósito original y así evitar que se tomen decisiones autónomas no deseadas (Tai, 2020).

REVISIÓN DE LITERATURA

Para la revisión de la literatura se aplicaron herramientas cuantitativas como VOSviewer y ScientoPy. VOSviewer es un software diseñado para construir y visualizar redes bibliométricas (VOSviewer, 2023). Estas redes pueden representar relaciones entre términos, autores o instituciones en la investigación científica y académica. En este estudio, se utilizó el análisis de redes de coocurrencia para identificar clústeres, temas en tendencia y los tópicos más abordados por la comunidad investigadora. En consecuencia, se llevó a cabo un análisis bibliométrico empleando la cadena de búsqueda: “Artificial Intelligence” AND Transhumanism, cuyos resultados fueron extraídos de la base de datos Scopus.

Figura 1
Mapa de visualización de red.



Nota. mapa de visualización de red generado con VOSviewer. Fuente: Elaboración propia (2025).

Una vez analizado el mapa de visualización de red generado con **VOSviewer**, se identificaron seis clústeres que agrupan el interés científico en torno a la relación entre inteligencia artificial (IA) y transhumanismo:

Aprendizaje Automático: El primer clúster está conformado principalmente por artículos relacionados con el aprendizaje automático y sus temas asociados, como el aprendizaje profundo, *Big Data*, los algoritmos y la toma de decisiones. En este contexto, el *Big Data* actúa como combustible para los modelos de IA basados en aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Desde una perspectiva transhumanista, esto genera inquietudes sobre si dichos modelos pudieran programar o replicar aspectos esenciales de nuestra naturaleza humana como la imaginación, los gustos, las sensaciones o las actitudes (Machado Oliveira, 2023). Estas preocupaciones, de carácter ético, explican por qué en este clúster también se agrupan temas humanísticos como la ética, la ética de la IA, la tecnología ética, el desarrollo sostenible y la educación.

Posthumano: El segundo clúster agrupa publicaciones cuyo eje temático gira en torno al concepto de “posthumano”, término clave dentro del transhumanismo, ya que el objetivo fundamental del movimiento transhumanista es precisamente la transición hacia una condición posthumana (Porter, 2017). En este estado, el ser humano ha superado sus limitaciones biológicas y psíquicas, motivo por el cual los temas asociados en el clúster incluyen la inmortalidad, el ciborg, el mejoramiento y la evolución humana asistida tecnológicamente.

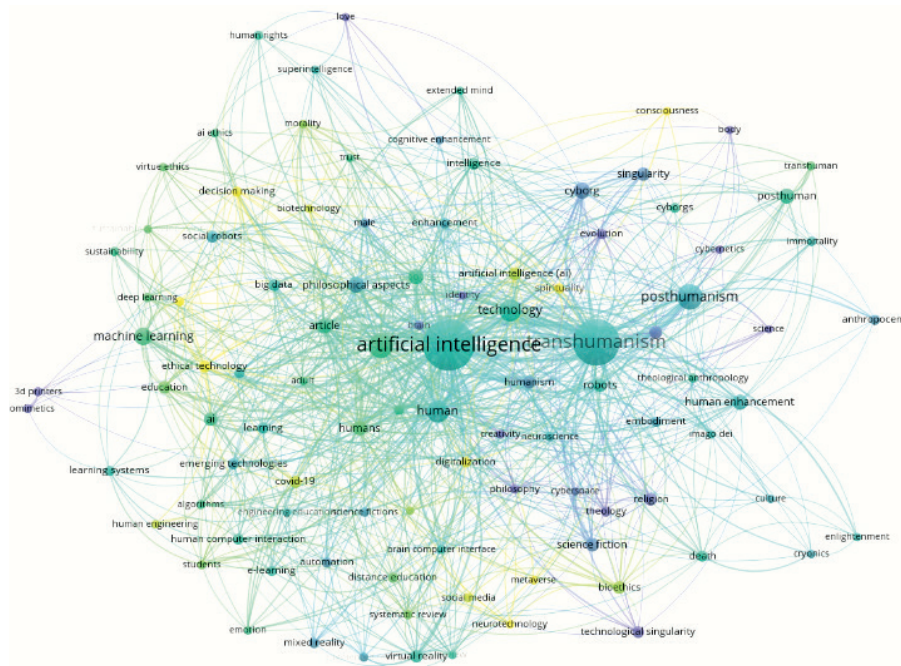
Tecnologías Emergentes: El tercer clúster está centrado en las tecnologías emergentes y su influencia en áreas como la ingeniería humana, la interacción humano-computadora, el aprendizaje en línea y los sistemas de enseñanza automatizados. Las tecnologías emergentes son aquellas que, aunque hayan sido desarrolladas en el pasado, resurgen con fuerza desde la marginalidad hasta convertirse en corrientes dominantes (Tiwari, 2022). Un ejemplo paradigmático es la inteligencia artificial, una tecnología con más de cinco décadas de historia, que, aunque aún no ha alcanzado su máximo potencial, ya se posiciona como pilar fundamental de la evolución tecnológica contemporánea.

Moralidad: El cuarto clúster se articula en torno al concepto de moralidad, abordando los aspectos éticos relacionados con la inteligencia artificial, el transhumanismo y sus interacciones. En este espacio convergen temas filosóficos y humanísticos que, dependiendo de la argumentación, pueden tanto sustentar como cuestionar la idea de una transformación radical de la condición humana.

Singularidad Tecnológica: En el quinto clúster aparece como eje temático la **Singularidad Tecnológica**, que agrupa trabajos sobre el avance exponencial de tecnologías como la inteligencia artificial, la nanotecnología o la biotecnología y su potencial de converger para transformar radicalmente la sociedad. Según Machado Oliveira (2023), la singularidad tecnológica, impulsada por una IA avanzada, plantea una visión en la que la humanidad alcanzará el desarrollo de una superinteligencia omnisciente y omnipotente. Este clúster también integra el concepto de **bioética**, sugiriendo que los avances tecnológicos deben abordarse desde una perspectiva ética que regule su impacto social y humano.

Muerte: El sexto y último clúster reúne artículos que tratan el tema de la **muerte**, la cual representa una preocupación fundamental dentro del transhumanismo. El objetivo del movimiento, en muchos casos, es erradicarla o superarla mediante tecnologías emergentes. Tal como lo afirma Diéguez (2017), “la prolongación indefinida de la vida, la victoria final sobre la muerte, la promesa definitiva de inmortalidad, eso es toda la justificación que el transhumanismo necesita para afianzarse y para constituirse en proyecto utópico”. Desde esta visión, se exploran soluciones tecnológicas —apoyadas por la IA— para enfrentar la finitud humana, lo cual genera debates bioéticos profundamente relevantes.

Figura 2
Mapa de visualización de superposiciones.



Nota. Mapa de visualización de superposiciones. Fuente: Elaboración propia (2025).

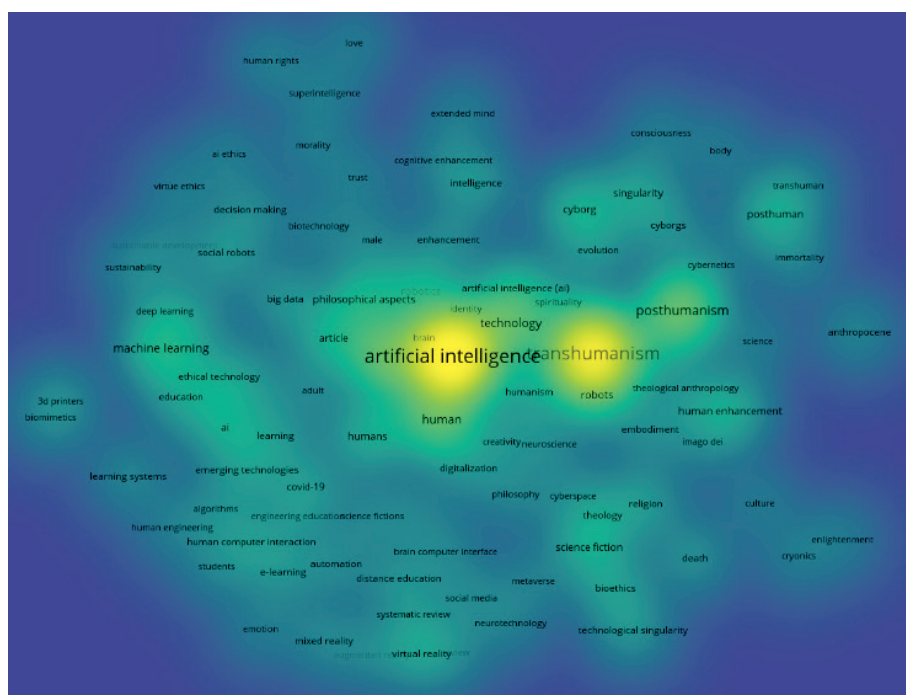
Al analizar el mapa de visualización de superposiciones, se identifican cinco enfoques clave que han dominado las tendencias recientes en la investigación sobre transhumanismo e inteligencia artificial: **tecnología ética, neurotecnología, biotecnología, toma de decisiones y conciencia.**

La **tecnología ética**, dentro del marco del transhumanismo, se refiere al desarrollo, uso y difusión de tecnologías que consideran principios éticos y morales en todas sus fases. En el contexto de la ética de la inteligencia artificial aplicada al transhumanismo, este enfoque adquiere particular relevancia al abordar la dimensión ética del “ciborg” como ser posthumano y su interacción con los humanos (Nath & Manna, 2023). De igual manera, los conceptos de **conciencia** y **toma de decisiones** ocupan un lugar central en los debates éticos del transhumanismo, especialmente cuando se considera el escenario utópico en el que una IA

logra desarrollar algún nivel de conciencia. En tales casos, surgen cuestionamientos sobre la legitimidad moral de los actos de futuros agentes autónomos y su estatus ético.

Por otra parte, la **neurotecnología** y la **biotecnología** se reconocen como parte de las llamadas **tecnologías convergentes**, las cuales, al igual que la inteligencia artificial, mantienen una estrecha relación con el ideario transhumanista. En particular, la **neurociencia** se centra en la mejora cognitiva, considerada por el transhumanismo como una prioridad cuando se plantea el desarrollo de una superinteligencia robótica. Se trata de una inteligencia artificial capaz de aprender, expandir sus capacidades y trascender las limitaciones de la mente humana, con el potencial, incluso, de reemplazarla en sus funciones fundamentales (Greguric & Knežević, 2020).

Figura 3
Mapa de visualización de densidad.



Nota. Mapa de visualización de densidad. Fuente: Elaboración propia (2025).

En la visualización de densidad, se evidencia que los científicos han centrado sus investigaciones en estos temas: posthumanismo, ciborgs, aprendizaje automático, aprendizaje profundo, mejoramiento humano, tecnología ética y bioética, todos estos con relación a la inteligencia artificial y el transhumanismo. Esto concuerda con lo que se mencionó anteriormente en el sexto clúster, pues al ser la idea del ser posthumano uno de los fines últimos del transhumanismo, los autores han hecho énfasis en la utopía de una sociedad posthumanista, donde ya se habla de ciborgs como sujetos que hacen parte de la sociedad. Esto claramente es tema de mucho debate entre los expertos de transhumanismo y bioética, por lo que evidentemente este conjunto de temas son los más mencionados en la literatura.

FUNDAMENTOS DEL TRANSHUMANISMO Y REVOLUCIÓN DE LA IA

Transhumanismo:

El transhumanismo, al considerarse un movimiento “humanista”, comparte elementos clave con el humanismo clásico, como el respeto por la razón, el compromiso con el progreso y la valoración de la existencia humana. A su vez, adopta valores humanistas como la racionalidad y la autonomía personal (Porter, 2017). Estas ideas surgen por la influencia del Renacimiento y la Ilustración, movimientos que sentaron las bases del pensamiento crítico y de la confianza en la ciencia y la tecnología como medios para la mejora humana.

Nick Bostrom (2011), en su obra *Una historia del pensamiento transhumanista*, sostiene que el transhumanismo se origina en el humanismo racional, heredero de ideas renacentistas retomadas por pensadores ilustrados como Newton, Kant y Hobbes. Este enfoque pone énfasis en la ciencia empírica y la razón crítica como herramientas para comprender el mundo y nuestro lugar en él. Bostrom explica que el humanismo renacentista motivaba a las personas a confiar en su propio juicio en lugar de someterse a las autoridades religiosas. Así, a diferencia del pensamiento basado en la revelación o el dogma, el humanismo racional defiende el uso del razonamiento lógico y la observación científica como base del conocimiento y la moral (Bostrom, 2011).

Como ya se mencionó, muchos pensadores ilustrados recuperaron elementos del Renacimiento, particularmente el estudio de las humanidades, y lo combinaron con una exaltación de la razón, la libertad individual y el rechazo a la autoridad absoluta. Esta combinación conforma la base del pensamiento transhumanista, que centra su atención en el ser humano como agente de cambio y propone su transformación mediante intervenciones biológicas, tecnológicas y cognitivas (Merzlyakov, 2022).

El transhumanismo, por tanto, proyecta una nueva visión del ser humano, conservando los valores fundamentales del humanismo, pero promoviendo su transformación radical con ayuda de tecnologías sofisticadas que prometen mejorar la cognición y prolongar la longevidad. En este marco, Bostrom (2021) plantea un “nuevo paradigma sobre el futuro de la humanidad”, que rompe con la suposición tradicional de que la condición humana es constante e inmutable. A través de ejemplos históricos como la escritura, la imprenta, la medicina y las computadoras, argumenta que incluso pequeñas innovaciones han transformado profundamente la experiencia humana. Esto le permite concluir que futuras innovaciones, aunque parezcan modestas, pueden tener efectos igual de significativos. En consecuencia, el transhumanismo sostiene que los problemas actuales de la humanidad solo podrán resolverse al trascender los límites biológicos de nuestra especie.

Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) es hoy en día uno de los temas más relevantes, aunque no se trata de una tecnología nueva. Sus orígenes se remontan a más de seis décadas, específicamente a los años 50, en un contexto marcado por la revolución tecnológica, la posguerra y la Guerra Fría (Jiang et al., 2022). Entre los antecedentes más notables, se encuentra el modelo de “máquina ideal” propuesto por Alan Turing en 1936, la regla de aprendizaje de Hebb en 1949 —una de las primeras formulaciones sobre redes neuronales— y el programa de ajedrez de Arthur Samuel en 1952, capaz de aprender a partir de la experiencia.

No obstante, la historia de la IA también ha estado marcada por ciclos de entusiasmo y decepción, debido a limitaciones tecnológicas, promesas exageradas y falta de resultados prácticos. Estos “inviernos de la IA” causaron descensos en la financiación y el interés por parte de la

comunidad científica. A pesar de ello, la IA resurgió gracias a cuatro factores clave: el éxito del aprendizaje automático (*machine learning*), la disponibilidad masiva de datos (*Big Data*), el aumento de la potencia de cómputo y el rendimiento de la IA en tareas cognitivas complejas.

Actualmente, los desarrollos en IA se enfocan principalmente en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo (*deep learning*), así como en la inteligencia artificial estrecha (ANI), los sistemas autónomos, simbióticos y los sistemas *human-in-the-loop* (Jiang et al., 2022).

El aprendizaje automático se centra en la creación de algoritmos capaces de aprender patrones a partir de datos sin ser explícitamente programados (Bisong, 2019a). El aprendizaje profundo, por su parte, utiliza redes neuronales artificiales inspiradas en la estructura cerebral para procesar grandes volúmenes de información compleja (Bisong, 2019b). Estos enfoques son fundamentales para aplicaciones como visión por computadora, procesamiento de lenguaje natural, reconocimiento facial o diagnóstico médico (Shinde & Shah, 2018).

La IA estrecha (ANI) hace referencia a sistemas diseñados para tareas específicas, como asistentes de voz, motores de búsqueda o vehículos autónomos. Aunque son altamente eficientes, no poseen capacidades generales ni conciencia (Abonamah et al., 2021). Aun así, su rendimiento supera al humano en múltiples tareas y su adopción se ha vuelto masiva (Kuusi & Heinonen, 2022).

Los **sistemas autónomos** (SA) operan sin intervención humana directa. Pueden razonar, aprender y adaptarse, emulando procesos cognitivos humanos (Wang et al., 2021). Se utilizan en industrias como la manufactura, defensa o educación, liberando a las personas de tareas repetitivas o peligrosas.

Por otro lado, los **sistemas simbióticos** (SS) permiten la cooperación entre humanos e IA. Inspirados en la simbiosis biológica, buscan aprovechar las fortalezas de ambas partes (Dominguez-Péry & Vuddaraju, 2020). Este enfoque se refleja también en los **sistemas human-in-the-loop** (HITL), que combinan inteligencia humana y artificial para optimizar la toma de decisiones en tareas críticas (Boulent et al., 2023).

Estos sistemas mejoran la precisión de los modelos y promueven una colaboración efectiva hombre-máquina (Mosqueira-Rey et al., 2022).

Estos enfoques no son excluyentes y frecuentemente se integran. Por ejemplo, un sistema de aprendizaje profundo puede ser parte de una aplicación de IA estrecha o de un sistema simbiótico. Como se evidencia, la IA tiene un papel esencial en la agenda transhumanista, al facilitar avances que mejoran la salud, educación y calidad de vida. Sin embargo, los desarrollos como el ML, ANI y los sistemas autónomos, aunque relevantes, no bastan por sí solos para materializar la visión transhumanista de una transformación radical de la humanidad.

Por el contrario, los sistemas simbióticos y *human-in-the-loop* representan una convergencia más alineada con el pensamiento transhumanista, al integrar al ser humano como parte activa del proceso tecnológico. En la última década, se han propuesto soluciones que van desde interfaces cerebro-computadora hasta la creación de una Superinteligencia Artificial (Humanity+, 2023). Estos desarrollos marcan el camino hacia un futuro donde IA y transhumanismo se entrelazan en la construcción de un nuevo horizonte para la especie humana.

MEDICINA, NEUROCIENCIA Y LONGEVIDAD: IA Y LAS MEJORAS HUMANAS

La intersección entre la inteligencia artificial y el transhumanismo ha generado un fascinante campo de estudio, especialmente en áreas críticas como la medicina, la neurociencia y la longevidad. La convergencia de la tecnología y la biología plantea cuestiones éticas fundamentales y abre nuevas posibilidades para mejorar la condición humana. Varios autores influyentes han abordado estos temas desde diversas perspectivas, proporcionando un marco conceptual sólido para entender las complejidades involucradas.

En el ámbito de la medicina, la IA ha demostrado ser una herramienta poderosa para mejorar la calidad de los servicios de salud. En su obra *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*, el Dr. Eric Topol (2019) explora cómo la IA puede personalizar la atención médica, aumentando la eficiencia y la precisión en los diag-

nósticos, al tiempo que destaca la necesidad de preservar la empatía y la conexión humana en el proceso médico (Topol, 2019).

La IA puede adaptar tratamientos a las características únicas de cada paciente mediante un análisis avanzado de datos clínicos, lo que facilita una identificación más rápida y precisa de patologías y permite enfoques terapéuticos personalizados. De esta manera, el sector salud se convierte en un motor clave para el desarrollo de la IA. Cada día se recopilan, almacenan y analizan inmensas cantidades de datos médicos que entrenan modelos de *machine learning* para la prevención, diagnóstico, tratamiento de enfermedades y descubrimiento de fármacos (Jiang et al., 2022).

Las condiciones sanitarias actuales, especialmente a raíz de la pandemia de COVID19, han puesto en evidencia desigualdades en el acceso a la salud y escasez de recursos en países económicamente vulnerables. Para abordar estos desafíos, se están implementando soluciones basadas en IA como Internet de las Cosas Médicas (IoMT), que conectan dispositivos, plataformas e infraestructuras inteligentes para el monitoreo continuo del estado de salud de los pacientes, reduciendo brechas en zonas remotas (Jiang et al., 2022). Ejemplos de IoMT incluyen oxímetros de pulso y microimplantes para monitorear parámetros como la temperatura corporal (dominio IoMT) (Shinde & Shah, 2018).

El aspecto más fascinante desde la visión transhumanista es la mejora cognitiva. Corrientes del transhumanismo orientadas al singularitarismo apuntan a alcanzar una “superinteligencia”. En este campo, la neurociencia se apoya en la IA para recopilar y analizar datos cerebrales en búsqueda de explicar la mente, identidad y conciencia (Greguric & Knežević, 2020). Raymond Kurzweil argumenta que la IA podría entrañar los procesos mentales complejos, facilitando el desarrollo de capacidades cognitivas superiores (Kurzweil, 2005).

Los sistemas simbióticos representan el enfoque de IA más alineado con el singularitarismo transhumanista, ya que combinan IA y mente humana para potenciar inteligencias cognitivas suprahumanas (DominguezPéry & Vuddaraju, 2020). Aljoscha C. Neubauer (2021) describe varios tipos de neurotecnologías destinadas a mejorar capacidades humanas:

Estimulación eléctrica/magnética transcraneal (EET/EMT): técnicas no invasivas que aplican corriente eléctrica o campos magnéticos para modular regiones cerebrales específicas (Neubauer, 2021).

Interfaces cerebrocomputadora (BCI): sistemas que traducen actividad cerebral en comandos ejecutables por máquinas (Neubauer, 2021).

Estimulación cerebral profunda (ECP): técnicas invasivas con electrodos implantados para tratar trastornos neurológicos o psiquiátricos (Neubauer, 2021).

Neubauer (2021) también señala que los aumentos del CI mediante estas técnicas son modestos (3–5 puntos), y que la evidencia sobre mejoras cognitivas significativas gracias a BCI aún es limitada. En 2017, un ensayo clínico con BCI implantadas en pacientes epilépticos mostró que la mayoría percibió mayor control sobre su vida diaria, aunque algunos presentaron pérdida de control o identidad (Neubauer, 2021).

En cuanto a la longevidad, la IA contribuye al desarrollo de terapias personalizadas y al uso de biomarcadores para frenar el envejecimiento celular mediante grandes conjuntos de datos genéticos y biomédicos (Huberman, 2020). Jenny Huberman describe los modos simbólicos de inmortalidad explorados por Lifton y Olson, indicando que la humanidad ha buscado trascender su mortalidad a través de formas simbólicas como la creación memorable o la reproducción digital (Huberman, 2018).

Finalmente, el concepto de carga mental o transferencia de conciencia implica emular la mente humana en un medio digital para trascender la muerte biológica. Este proceso, pronosticado por Kurzweil (2005), apunta a una condición en que la identidad humana pueda subsistir indefinidamente en sustratos tecnológicos (Kurzweil, 2005). Aunque inicialmente utópica, esta idea ha ganado tracción en círculos transhumanistas gracias al desarrollo de IA avanzada (Topol, 2019).

SINGULARIDAD TECNOLÓGICA: ¿EL FIN DE LA CONDICIÓN NATURAL DEL SER HUMANO?

Lo singular es aquello que representa la unicidad de algo, ya sea en términos de cantidad, calidad o características excepcionales. En el contexto del transhumanismo, la singularidad tecnológica es, en términos generales, un evento único que marcará un antes y un después en la historia de la humanidad por medio de la tecnología. En un mundo revolucionado por la IA, la singularidad es la unicidad de todo lo que conocemos, pero representado en un medio tecnológico, en lugar de uno biológico.

Muchos transhumanistas identifican que el origen del término “singularidad tecnológica” se remonta a 1958, cuando el matemático húngaro-estadounidense John von Neumann lo mencionó por primera vez en una conversación. Von Neumann afirmó: “el rápido avance tecnológico y los cambios en el estilo de vida humano, dan la impresión de aproximarse a una singularidad esencial en la historia de la humanidad. Esta singularidad esencial parece estar en el horizonte, marcando un punto en la historia de la humanidad, más allá del cual los asuntos humanos, tal y como los conocemos, podrían no continuar” (citado en Kurzweil, 2005).

La noción más aceptada actualmente es la de Vernor Vinge, popularizada por Ray Kurzweil, quien define la singularidad como un punto hipotético en el que el progreso tecnológico se aceleraría exponencialmente, haciendo imposible para los humanos predecir lo que sucederá después (Kurzweil, 2005). Por su parte, Bostrom (2014) la imagina como un mundo donde una superinteligencia artificial superaría al ser humano en todos los aspectos cognitivos relevantes.

Este posible escenario plantea que los humanos pasarían a un segundo plano: ya sea coexistiendo con inteligencias artificiales o siendo reemplazados por ciborgs o conciencias integradas en máquinas. Aunque existen diferentes visiones sobre la singularidad, la incertidumbre persiste sobre su ocurrencia real.

Las implicaciones religiosas no se han hecho esperar. Aunque el movimiento transhumanista no se define como una religión, comparte carac-

terísticas con las aspiraciones religiosas tradicionales: trascendencia, inmortalidad y salvación. Según Huberman (2023), el transhumanismo seculariza los motivos religiosos y otorga un significado salvífico a la tecnología.

Críticos religiosos afirman que el transhumanismo “juega a ser Dios”, al intentar crear vida artificial y buscar la inmortalidad tecnológica. Desde esta perspectiva, la vida eterna debe alcanzarse por medios espirituales, no por la tecnología (Huberman, 2023).

La singularidad, sin embargo, continúa siendo una idea especulativa. Bostrom (2014) reconoce divisiones entre los transhumanistas: algunos creen que es posible, otros la ven como improbable. Kurzweil (2005) basa su optimismo en la Ley de Moore, pero esta ha sido cuestionada por sus límites físicos y económicos (Topol, 2019).

Frente a estas dudas, se postulan diferentes caminos hacia la superinteligencia: desde el avance hacia la AGI (Artificial General Intelligence), que poseería capacidades cognitivas humanas o superiores (Bostrom, 2014; Tegmark, 2017), hasta la simbiosis humano-IA mediante interfaces cerebro-computadora (BCI) o la carga mental (Huberman, 2023; Kurzweil, 2005).

La etapa final sería la superinteligencia (ASI, Artificial Superintelligence), donde se alcanzaría la singularidad tecnológica (Tegmark, 2017). Aunque estas ideas son aún teóricas, impulsan el debate ético, científico y social sobre el futuro de la humanidad en relación con la inteligencia artificial.

CONSECUENCIAS NO DESEADAS: RIESGOS PARA LA SALUD Y LA SOCIEDAD

Los transhumanistas, en su declaración oficial (Humanity+, 2023), afirman apoyar un movimiento que, motivado por el bien común, intenta ayudar a la especie para llegar al siguiente nivel evolutivo, es decir, el tecnológico. Aseguran estar regidos por los principios éticos del humanismo, en pro de la construcción de una nueva sociedad trascendente que finalmente solucionará sus problemas de desigualdad, pobre-

za, economía, sanidad, etc. Sin embargo, estas declaraciones no quitan el hecho de que se puedan desviar las intenciones en algún punto. En vista de que los desarrollos de la IA pretendidos por el transhumanismo pueden transformar la condición biológica del ser humano, es responsabilidad de la bioética asegurarse de que la dignidad humana no sea vulnerada en ningún aspecto.

En el contexto de transhumanismo, la bioética presenta principalmente dos preocupaciones. La primera, está relacionada a las tecnologías disruptivas que tienen la capacidad de transformar fundamentalmente la naturaleza humana. La segunda, es de índole social y se vincula, por un lado, con el uso malintencionado de la IA, y, por otro lado, con la cuestión del acceso a las tecnologías de mejora. Estas dos preocupaciones, plantean interrogantes sobre la equidad, la justicia social y la creación de disparidades aún mayores en una sociedad ya marcada por desigualdades.

A continuación, se discutirán estos y otros temas bioéticos asociados al transhumanismo, desde varios puntos de vista según los expertos, con el objetivo de fomentar un diálogo ético informado que guíe el desarrollo y la implementación responsable de tecnologías transhumanistas.

De la independencia a la dependencia- retos bioéticos de la IA: En el caso de la tecnología, la dependencia generalmente surge cuando un dispositivo, herramienta o gadget, satisface una necesidad de manera instantánea, liberando a la persona del esfuerzo, sufrimiento o dolor que podría implicar una tarea complicada. El ser humano se ha acostumbrado a la tecnología y la técnica desde que encontró en ellas formas de resolver sus problemas, y a lo largo de la historia, han servido como herramientas para la rápida evolución de la especie. En la sociedad actual, la tecnología es indispensable en muchas áreas, como la comunicación, la medicina, la educación, la industria y la investigación científica. No obstante, aunque seamos tecnológicamente dependientes para muchas tareas de esfuerzo, no dejamos de ser los creadores y programadores de las máquinas, por lo que, seguimos siendo independientes en nuestras facultades únicas, como imaginar, razonar y crear; y, en la más importante, la inteligencia, la cual no se ha podido replicar (por ahora) ni por la tecnología más avanzada en este aspecto: la IA.

El crecimiento exponencial de la inteligencia artificial ha llevado a un cambio paradigmático en la relación entre humanos y máquinas, planteando serios retos éticos. Nick Bostrom, en su obra *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, advierte sobre el riesgo de que las máquinas alcancen una inteligencia superior a la humana, generando dilemas éticos en torno a la autonomía y la dependencia de la tecnología (Bostrom, 2016). La dependencia excesiva de la IA podría erosionar la capacidad humana para la toma de decisiones, planteando cuestionamientos sobre la responsabilidad y la irresponsabilidad en casos de errores o malentendidos.

Para el caso de la medicina, a pesar de que la generalización de la inteligencia artificial en el ámbito clínico apunta a proporcionar una mejora significativa en la atención de los pacientes, existen ciertas inquietudes sobre la ética de los procedimientos médicos mediados por IA. El trabajo de los bioeticistas Fabrice Jotterand y Clara Bosco (2022) identificó algunas preocupaciones que, fundamentalmente, surgen por la rapidez y la complejidad del entorno clínico. En primer lugar, la necesidad de preservar la conexión humana en la atención médica desafía los paradigmas éticos existentes. En segundo lugar, la transformación antropológica y cultural subraya la importancia de proteger la dignidad humana ante el avance tecnológico de la IA. En tercer lugar, la noción de neuroderechos se presenta como crucial para salvaguardar la privacidad mental. Y en cuarto lugar, la reimaginación de la educación médica es esencial para preparar a los profesionales de la salud frente a la influencia de la IA, destacando habilidades como el pensamiento crítico, la gestión de aplicaciones tecnológicas y el cultivo de dimensiones humanísticas en la atención. En conjunto, estas reflexiones subrayan la necesidad de una ética dinámica y adaptable que guíe la implementación de la IA en la medicina, priorizando la integridad humana y el bienestar del paciente.

En la sección IV se mencionaron algunas de las técnicas neurocientíficas que se están implementando para la mejora cognitiva, de entre las cuales, la más sonada entre los transhumanistas, la interfaz cerebro-computadora, daba algunos problemas para el paciente. Se explicaba como ya inclusive, en la aplicación clínica, presentaba ciertas complejidades con el tema de la identidad y la pérdida de control en los pacientes. Por otro lado, también se abordó el tema de la carga mental, como tecnología para lograr la inmortalidad. Estos dos proyectos, aunque estan-

do en fase de desarrollo, son el pilar del proyecto transhumanista más ambicioso: la singularidad.

La singularidad tecnológica conlleva profundas connotaciones antropológicas y metafísicas (Solana, 2019). El problema de una humanidad que trasciende su propia naturaleza es que sus concepciones universales, como la dignidad, pueden verse afectadas por la fragmentación del discurso bioético, el cual enfrentaría desafíos significativos al considerar el impacto del transhumanismo. Mientras que los bioconservadores perciben las mejoras tecnológicas como amenazas a la dignidad humana, los transhumanistas —como Bostrom— sostienen que dichas mejoras podrían incrementar la dignidad al permitir un mayor desarrollo del potencial humano (Bostrom, 2005). Sin embargo, se cuestiona la compatibilidad entre la dignidad humana y posthumana, especialmente en lo relacionado con la identidad personal y la relación única de los individuos con el mundo (Jotterand, 2010).

Desde una perspectiva metafísica, la cuestión esencial es si la dignidad humana —en el contexto de la mejora transhumanista— se fundamenta exclusivamente en la biología o si incorpora dimensiones más profundas. Surgen preocupaciones sobre cómo las intervenciones tecnológicas podrían comprometer la definición de identidad, generando dilemas existencialistas en un escenario posthumano (Jotterand, 2010). La carga mental, los cyborgs y las partes del cuerpo reemplazables representarían un desafío para la autenticidad de la identidad personal y el valor intrínseco de la dignidad humana en un entorno tecnológicamente mejorado.

En definitiva, es necesario profundizar en la importancia de desarrollar sistemas de inteligencia artificial que sean compatibles con los valores humanos, evitando posibles conflictos éticos. La necesidad de establecer límites éticos claros y mecanismos de control se vuelve crucial para prevenir que la IA supere los márgenes establecidos por la sociedad (Russell, 2021).

La brecha que se amplía: desempleo, discriminación y desigualdad en la era transhumanista. El problema del desempleo no es un fenómeno nuevo; a lo largo de la historia se han presentado diversas crisis que lo han agravado, siendo la más reciente la provocada por la pandemia del COVID-19 (Blustein et al., 2020). Las causas del desempleo son múlti-

ples y, en general, responden a factores económicos, sociales y culturales, dependiendo de las particularidades de cada país. Por ejemplo, en los países en vías de desarrollo —que suelen registrar las tasas más altas de desempleo— influyen aspectos como la escasa diversificación económica, la inestabilidad política, la falta de acceso a una educación de calidad y las condiciones laborales precarias.

Sin embargo, en la actualidad, el desempleo también puede tener raíces tecnológicas. El mundo experimenta transformaciones aceleradas y, aunque algunos países estén mejor posicionados económicamente, comienzan a sentir los efectos del llamado desempleo tecnológico. A medida que la inteligencia artificial transforma industrias enteras mediante la automatización de procesos, se incrementa el número de personas desempleadas, lo que intensifica la desigualdad económica y genera tensiones sociales. El avance de la IA ha sustituido numerosas tareas humanas por maquinaria automatizada. Hoy en día, muchas líneas de ensamblaje de vehículos emplean robots de manera generalizada, lo que ha provocado la disminución de empleos tradicionales. Incluso en sectores de servicios como los supermercados, los trabajadores de tienda están siendo reemplazados por dispositivos digitales capaces de asumir sus funciones (Tai, 2020).

Hay que tener en cuenta que estos problemas ya son una realidad para muchas personas. En los inicios de la revolución de la IA, ya hay miles de casos de desempleo a causa del reemplazo de las tecnologías inteligentes (Bordot, 2022). En este orden de ideas, en una futura era transhumanista, si la IA nos llega a reemplazar en todas las tareas que normalmente los simples humanos hacen, ¿qué será de los millones de trabajadores? O más preocupante aún, si la IA llega a superar la inteligencia humana, ¿cuál será nuestro propósito en la vida, si nuestra inteligencia, la facultad que nos hace únicos, ya no estará en la cúspide de la jerarquía de las criaturas vivientes? La facilidad de la vida actual, el declive de la religión y la creciente inmersión en actividades digitales plantean la pregunta fundamental sobre el propósito de la vida. A medida que la inteligencia artificial desplace a trabajadores en diversas áreas, se cuestiona si los desempleados se dedicarán a actividades constructivas o caerán en ocupaciones menos beneficiosas (Green, 2018). Aunque la pérdida de empleo será significativa para aquellos que dan sentido a sus vidas con trabajo, muchos encuentran significado en otras esferas como la fami-

lia, religión o pasatiempos. No obstante, la importancia de asegurar el sustento y la protección de los desempleados, especialmente en naciones con débiles redes de seguridad social, destaca, anticipándose a un aumento de la desigualdad mientras los beneficios de la IA se acumulan en detrimento del trabajo humano (Green, 2018).

En consecuencia, si el desempleo aumenta, la discriminación y desigualdad podrían intensificarse también, creando divisiones entre aquellos que tienen acceso a las tecnologías de mejora y los que no. Entonces, nace un nuevo temor: la posibilidad de que la corriente transhumanista tome otro rumbo y se convierta en una “ideología de las élites”, es decir, un malintencionado plan por parte de las autoridades más influyentes para apoderarse del control político, social y económico del planeta, asumiendo así un control total de la humanidad, dejando a los más vulnerables sin acceso a las mejoras que traería la era transhumana. Según Vesa y Tienari (2020), la inteligencia artificial representa una ideología con la capacidad de explicar y dirigir el curso de nuestro mundo actual, que se encuentra en la era de la post-globalización y la post-desregulación. Esta ideología valida nuevas formas de poder y control, reemplazando en cierta medida los discursos neoliberales con discursos tecnológicos derivados de la inteligencia artificial. Este enfoque ideológico sugiere que las élites utilizan la complejidad y omnipresencia de la IA, así como la vasta cantidad de datos que maneja, para mantener ciertas estructuras de poder fuera del alcance y conocimiento común. Se argumenta que al enmarcar la IA como una fuerza disruptiva y en constante evolución, las élites pueden encubrir sus acciones y decisiones detrás de promesas tecnológicas, al tiempo que determinan quién tiene la capacidad de interpretar y controlar el mundo digital (Vesa & Tienari, 2020).

En la literatura, algunos autores suelen referirse al transhumanismo como “la nueva cara de la bioética” o el “reemplazo de la bioética” (Holub, 2020; Jotterand, 2010; Solana, 2019). Esto se debe a que los transhumanistas han estado muy involucrados en los debates bioéticos, pero ¿por qué? Pues bien, el transhumanismo comparte similitudes con la bioética, como el interés en el bienestar humano, y se relacionan en algunas temáticas, como la ética de la tecnología aplicada a la biología; por esta razón, el discurso bioético resulta de gran interés para el transhumanismo. Sin embargo, de ninguna manera los bioeticistas van a estar de acuerdo con las ideas transhumanistas, porque consideran

que deben ser cautelosos frente al optimismo excesivo que los transhumanistas muestran en relación con lo posthumano y los tipos de tecnologías necesarias para alcanzar ese estado (Solana, 2019). En muchas ocasiones, los transhumanistas respaldan su ideología de trascendencia biológica con un discurso que garantiza “continuidad”, ya sea con las tradiciones humanas del pasado o con el humano en sí mismo (Solana, 2019). Estas afirmaciones a menudo se desvanecen al someterlas a un escrutinio académico, revelando incongruencias. Cualquier propuesta para ampliar las habilidades humanas más allá de lo que se considera “natural” o “dado por Dios” conlleva implicaciones éticas, políticas y legales. Esta dinámica no es novedosa; la historia y el pensamiento revelan la legitimidad política de las normas que rigen la vida humana, como la naturaleza, humanidad, civilización, cultura y moralidad, que evolucionan hacia normas políticas y discursivas (Kyslan, 2019). Por esta razón, la decisión más conveniente para evitar las consecuencias no deseadas de un mundo tecnológicamente mejorado es establecer una “ética de la IA”.

En una hipotética era transhumanista, la ética de la inteligencia artificial (IA) es crucial debido a la evolución de la tecnología hacia la creación de agentes éticos autónomos. A medida que la especie se acerque a un futuro posthumano, lleno de interacciones con ciborgs y robots, la ética de la IA se vuelve esencial para gestionar la relación entre estas tecnologías avanzadas y los seres humanos. Además, la amenaza potencial para la existencia humana y la falta de conciencia en las máquinas de IA plantean preguntas fundamentales sobre responsabilidad y toma de decisiones. La ética de la IA aborda la necesidad de definir normas y valores para garantizar que estas máquinas actúen de manera correcta y beneficiosa para la sociedad, incluso cuando superan el rendimiento humano (Nath & Manna, 2023).

Cuidar la dimensión ética de la IA es una tarea que se debe iniciar desde ya. Aunque actualmente no existe una IA completamente autónoma, los sistemas actuales de IA deben de ser programados y limitados en su alcance. Es posible que las visiones transhumanistas resulten ser simples cuentos de ciencia ficción, y que nunca tengamos que enfrentarnos a una inteligencia superior a la nuestra. Sin embargo, esto no descarta la posibilidad de que la IA pueda causar desastres. Así pues, el marco ético debe ajustarse a los problemas que atraviesa la humanidad, es decir,

debe centrarse en la transparencia, equidad, responsabilidad y privacidad. Los sistemas de IA deben ser comprensibles, evitando la discriminación con desarrolladores y usuarios, y asumiendo la responsabilidad. La seguridad, la colaboración internacional y el desarrollo sostenible son fundamentales, y la participación ciudadana debe ser promovida. Este marco ético debe evolucionar con la tecnología y ser una colaboración global, para garantizar un uso ético y beneficioso de la IA (Green, 2018; Leal, 2021).

CONCLUSIONES

En este estudio, se destacaron las contribuciones significativas de la IA al transhumanismo y explorando sus implicaciones bioéticas. La última década ha presenciado avances notables en la IA, desde el desarrollo de la Inteligencia Artificial Estrecha hasta la simbiosis Humano-IA a través de interfaces cerebro-computadora. Estos logros delinean un panorama de transformación tecnológica con el potencial de redefinir la condición humana. Sin embargo, estas innovaciones plantean tensiones bioéticas, especialmente con relación a la interpretación de la singularidad tecnológica y su impacto en la conciencia, los derechos de la IA y las creencias religiosas. La dicotomía entre los ideales transhumanistas y las preocupaciones éticas subraya la necesidad de abordar estos desafíos para garantizar que la evolución tecnológica respete los valores fundamentales de la humanidad.

La convergencia entre la IA y el transhumanismo desencadena una serie de desafíos bioéticos cruciales. La transición de la independencia a la dependencia de la IA plantea preocupaciones sustanciales sobre la autonomía individual, la privacidad y la seguridad. La integración de interfaces cerebro-computadora en la vida cotidiana agrega capas adicionales de complejidad ética. Además, la brecha que se amplía entre aquellos que tienen acceso a las mejoras tecnológicas y aquellos que no, intensifica problemas de discriminación y desigualdad en la era transhumanista. Existe el riesgo de que estas innovaciones beneficien de manera desproporcionada a unos pocos, acentuando disparidades sociales y económicas. Este escenario destaca la urgencia de regulaciones éticas para garantizar un acceso equitativo y justo a las tecnologías transhumanistas, evitando así la perpetuación de desigualdades. La in-

tersección entre la IA y el transhumanismo no solo impulsa la evolución tecnológica, sino que también exige una reflexión continua sobre los aspectos bioéticos. Este análisis es esencial para guiar el desarrollo futuro de la IA y su integración con el transhumanismo, asegurando que estos avances beneficien a la sociedad en su conjunto.

REFERENCIAS

- Abonamah, A. A., Tariq, M. U., & Shilbayeh, S. (2021). On the commoditization of artificial intelligence. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 696346. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2021.696346>
- AlRodhan, N. (2023). Transdisciplinarity, neurotechnophilosophy, and the future of philosophy. *Metaphilosophy*, 54(1), 73–86. <https://doi.org/10.1111/META.12595>
- Antal, A., et al. (2022). Noninvasive brain stimulation and neuroenhancement. *Clinical Neurophysiology Practice*, 7, 146–165. <https://doi.org/10.1016/J.CNP.2022.05.002>
- Belk, R., Humayun, M., & Gopaldas, A. (2020). Artificial life. *Journal of Macromarketing*, 40(2), 221–236. <https://doi.org/10.1177/0276146719897361>
- Bisong, E. (2019a). What is machine learning? In *Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform* (pp. 169–170). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4470-8_13
- Bisong, E. (2019b). What is deep learning? In *Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform* (pp. 327–329). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4470-8_27
- Bloom, N., Jones, C. I., van Reenen, J., & Webb, M. (2020). Are ideas getting harder to find? *American Economic Review*, 110(4), 1104–1144. <https://doi.org/10.1257/AER.20180338>
- Blustein, D. L., Duffy, R., Ferreira, J. A., CohenScali, V., Cinamon, R. G., & Allan, B. A. (2020). Unemployment in the time of COVID19: A research agenda. *Journal of Vocational Behavior*, 119, 103436. <https://doi.org/10.1016/J.JVB.2020.103436>
- Bordot, F. (2022). Artificial intelligence, robots and unemployment: Evidence from OECD countries. *Journal of Innovation Econom-*

- ics & Management*, 37(1), 117–138. <https://doi.org/10.3917/JIE.037.0117>
- Bostrom, N. (2005). In defense of posthuman dignity. *Bioethics*, 19(3), 202–214. <https://doi.org/10.1111/J.1467-8519.2005.00437.X>
- Bostrom, N. (2011). Una historia del pensamiento transhumanista. *Argumentos de Razón Técnica*, (14), 157–191. Recuperado de <https://revistascientificas.us.es/...>
- Bostrom, N. (2016). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies*. Oxford University Press. Recuperado de <https://books.google.com.co/...>
- Bostrom, N. (2021). ¿Qué es el transhumanismo? *Futuro Hoy*, 2(2), 7–12. <https://doi.org/10.52749/FH.V2I2.1>
- Boulent, J., et al. (2023). Scaling whale monitoring using deep learning: A humanintheloop solution for analyzing aerial datasets. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1099479. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2023.1099479>
- Crowther, M. (2019). IoT and transhumanism. In *The Transhumanism Handbook* (pp. 689–700). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16920-6_55
- Diéguez, A. (2017). *Transhumanismo: La búsqueda tecnológica del mejoramiento humano*. Herder Editorial. Recuperado de <https://books.google.com.co/...>
- Dogaru, D. I., & Dumitrache, I. (2019, November). Big data and machine learning framework in healthcare. *EHealth and Bioengineering Conference (EHB 2019)*. <https://doi.org/10.1109/EHB47216.2019.8969944>
- DominguezPéry, C., & Vuddaraju, L. N. R. (2020). From human automation interactions to social human autonomy machine teaming in maritime transportation. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 618 (pp. 45–56). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64861-9_5
- Ferrando, R. M. (2020). El transhumanismo de Julian Huxley: Una nueva religión para la humanidad. *Cuadernos de Bioética*, 31(101), 71–85. <https://doi.org/10.30444/CB.53>
- Gaitán, L. (2019). Heaven on earth: The mind uploading project as secular eschatology. *Theology and Science*, 17(3), 403–416. <https://doi.org/10.1080/14746700.2019.1632554>

- García, E. G. (2020). Neurociencia, humanismo y posthumanismo. *Logos. Anales del Seminario de Metafísica*, 53, 9–31. <https://doi.org/10.5209/ASEM.70833>
- Gilbert, F., Cook, M., O'Brien, T., & Illes, J. (2019). Embodiment and estrangement: Results from a firstinhuman “intelligent BCI” trial. *Science and Engineering Ethics*, 25(1), 83–96. <https://doi.org/10.1007/S11948-017-0001-5>
- Green, B. P. (2018). Ethical reflections on artificial intelligence. *Scientia et Fides*, 6(2), 9–31. Recuperado de <https://apcz.umk.pl/SetF/article/view/18064>
- Greguric, I., & Knežević, K. (2020). Transhumanism and artificial intelligence: Philosophical aspects. In *Guide to Deep Learning Basics* (pp. 131–137). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37591-1_12
- Holub, G. (2020). Is transhumanism a new face of bioethics? *Revista de Filosofia Aurora*, 32(55), 62–73. <https://doi.org/10.7213/1980-5934.32.055.DS04>
- Huberman, J. (2018). Immortality transformed: Mind cloning, transhumanism and the quest for digital immortality. *Mortality*, 23(1), 50–64. <https://doi.org/10.1080/13576275.2017.1304366>
- Humanity+. (2023). *The Transhumanist Declaration*. Recuperado de <https://www.humanityplus.org/the-transhumanist-declaration>
- Humanity+. (2023). *Transhumanist FAQ*. Recuperado de <https://www.humanityplus.org/transhumanist-faq>
- Jacobs, G. (2019, October). Social consequences & policy implications of emerging symbiotic systems. *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. <https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8914422>
- Jiang, Y., Li, X., Luo, H., Yin, S., & Kaynak, O. (2022). Quo vadis artificial intelligence? *Discover Artificial Intelligence*, 2(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/S44163-022-00022-8>
- Jotterand, F. (2010). Human dignity and transhumanism: Do anthropo-technological devices have moral status? *The American Journal of Bioethics*, 10(7), 45–52. <https://doi.org/10.1080/15265161003728795>
- Jotterand, F., & Bosco, C. (2022). Artificial intelligence in medicine: A sword of Damocles? *Journal of Medical Systems*, 46(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/S10916-021-01796-7>

- June, S., & Vanak, J. (2022). Artificial intelligence and medicine. *Science Insights*, 41(1), 567–575. <https://doi.org/10.15354/SI.22.RE068>
- Karikari, E., & Koshechkin, K. A. (2023). Review on braincomputer interface technologies in healthcare. *Biophysical Reviews*, 1, 1–8. <https://doi.org/10.1007/S12551-023-01138-6>
- Kokkonen, A., Honkanen, E. A., Corp, D. T., & Joutsa, J. (2022). Neurobiological effects of deep brain stimulation: A systematic review of molecular brain imaging studies. *NeuroImage*, 260, 119473. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2022.119473>
- Kornwachs, K. (2021). Transhumanism as a derailed anthropology. In *Cognitive Technologies* (pp. 21–47). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56546-6_2
- Krüger, O. (2021). “The singularity is near!” Visions of artificial intelligence in posthumanism and transhumanism. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 7, Article 1. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2021.07.004>
- Kurzweil, R. (2019). *How to create a mind: The secret of human thought revealed*. Prelude Books. Recuperado de <https://books.google.com.co/...>
- Kyslan, P. (2019). Transhumanism and the issue of death. *Ethics and Bioethics (in Central Europe)*, 9(1–2), 71–80. <https://doi.org/10.2478/EBCE-2019-0011>
- Laakasuo, M., et al. (2021). The dark path to eternal life: Machiavelianism predicts approval of mind upload technology. *Personality and Individual Differences*, 177, Article 110731. <https://doi.org/10.1016/J.PAID.2021.110731>
- Leal, T. D. Z. (2021). La ética en inteligencia artificial desde la perspectiva del derecho. *Via Inveniendi Et Iudicandi*, 16(2). <https://doi.org/10.15332/19090528.6785>
- Machado Oliveira, A. (2023). Future imaginings in art and artificial intelligence. *Journal Name*, 9(2), 209–225. <https://doi.org/10.1080/20539320.2022.2150467>
- McLean, S., Read, G. J. M., Thompson, J., Baber, C., Stanton, N. A., & Salmon, P. M. (2023). The risks associated with artificial general intelligence: A systematic review. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 35(5), 649–663. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2021.1964003>

- Mercer, C., & Trothen, T. J. (2021). Superintelligence: Bringing on the singularity. In *Religion and the Technological Future* (pp. 181–204). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62359-3_10
- Merzlyakov, S. S. (2022). Posthumanism vs. transhumanism: From the “end of exceptionalism” to “technological humanism.” *Her Russ Acad Sci*, 92(6), S475–S482. <https://doi.org/10.1134/S1019331622120073>
- MosqueiraRey, E., HernándezPereira, E., AlonsoRíos, D., BobesBascarán, J., & FernándezLeal, Á. (2022). Humanintheloop machine learning: A state of the art. *Artificial Intelligence Review*, 56(4), 3005–3054. <https://doi.org/10.1007/S10462-022-10246-W>
- Nath, R., & Manna, R. (2023). From posthumanism to ethics of artificial intelligence. *AI & Society*, 38(1), 185–196. <https://doi.org/10.1007/S00146-021-01274-1>
- Neubauer, A. C. (2021). The future of intelligence research in the coming age of artificial intelligence: With a special consideration of the philosophical movements of trans and posthumanism. *Intelligence*, 87, Article 101563. <https://doi.org/10.1016/J.INTELL.2021.101563>
- Pontigo, L. L., & VillegasDelgadillo, R. N. (2020). Bioethics applied in a public health research. *Mexican Bioethics Review ICSA*, 2(3), 11–15. <https://doi.org/10.29057/MBR.V2I3.5881>
- Porter, A. (2017). Bioethics and transhumanism. *The Journal of Medicine and Philosophy: A Forum for Bioethics and Philosophy of Medicine*, 42(3), 237–260. <https://doi.org/10.1093/JMP/JHX001>
- Roli, A., Jaeger, J., & Kauffman, S. A. (2022). How organisms come to know the world: Fundamental limits on artificial general intelligence. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 806283. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2021.806283>
- Ross, B. (2020). *The philosophy of transhumanism: A critical analysis* (pp. 1–194). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/9781839826221>
- Russell, S. (2021). Artificial intelligence and the problem of control. In *Perspectives on Digital Humanism* (pp. 19–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86144-5_3
- Sheikh, H., Prins, C., & Schrijvers, E. (2023). Artificial intelligence: Definition and background (pp. 15–41). https://doi.org/10.1007/978-3-031-21448-6_2

- Shinde, P. P., & Shah, S. (2018). A review of machine learning and deep learning applications. In *Proceedings of the 2018 4th International Conference on Computing, Communication Control and Automation (ICCCUBEA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCUBEA.2018.8697857>
- Sinclair, D. A., & LaPlante, M. (2019). *Lifespan: The revolutionary science of why we age and why we don't have to*. Retrieved from Google Books.
- Solana, E. P. (2019). Bioética y transhumanismo desde la perspectiva de la naturaleza humana. *Arbor*, 195(792), a507. <https://doi.org/10.3989/ARBOR.2019.792N2008>
- Tai, M. C. T. (2020). The impact of artificial intelligence on human society and bioethics. *TzuChi Medical Journal*, 32(4), 339. https://doi.org/10.4103/TCMJ.TCMJ_71_20
- Thompson, J. (2017). Transhumanism: How far is too far? *Journal Name*, 23(2), 165–182. <https://doi.org/10.1080/20502877.2017.1345092>
- Thorn, P. D. (2015). Nick Bostrom: Superintelligence: Paths, dangers, strategies. *Minds and Machines*, 25(3), 285–289. <https://doi.org/10.1007/S11023-015-9377-7>
- Tiwari, S. P. (2022, March 9). Emerging technologies: Factors influencing knowledge sharing. *SSRN*. Recuperado de <https://papers.ssrn.com/abstract=4066078>
- Topol, E. (2019). *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Google Books. Recuperado de <https://books.google.com.co/...>
- Vesa, M., & Tienari, J. (2020). Artificial intelligence and rationalized unaccountability: Ideology of the elites? *Organization*, 29(6), 1133–1145. <https://doi.org/10.1177/1350508420963872>
- VOSviewer. (2023). *VOSviewer – Visualizing scientific landscapes*. Recuperado de <https://www.vosviewer.com/>
- Wang, Y., et al. (2021). On the philosophical, cognitive and mathematical foundations of symbiotic autonomous systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2207). <https://doi.org/10.1098/RSTA.2020.0362>
- Wilkinson, S. (2010). *Choosing tomorrow's children: The ethics of selective reproduction* (pp. 1–288). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199273966.001.0001>

Aplicaciones de inteligencia artificial en odontología: un análisis sistemático de la literatura

Yesica Nataly Torres Hernández¹

RESUMEN

La Inteligencia artificial se ha convertido en un gran aliado de las ciencias de la salud, apoyando procesos preventivos, de detección, de diagnóstico, tratamientos, consulta, entre otros. Una de las especialidades médicas es la odontología, que se ha convertido en un área muy demandada, tanto por salud como por estética. En este artículo se realiza una revisión sistemática sobre los aportes encontrados de la Inteligencia Artificial al campo odontológico, con el fin de identificar las condiciones para las cuales se emplea e identificar si su uso es con fines de diagnóstico o tratamiento. Además, se identifican los algoritmos más utilizados. Este trabajo busca dar una visión de los avances o investigaciones logradas en los últimos años, con el fin de apoyar futuros estudios que contribuyan al mejoramiento de la salud humana, en especial a nivel oral.

Palabras Clave: Deep Learning, Inteligencia artificial, Machine Learning, Odontología, Redes neuronales.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. yesica.torresh@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con la PhD. Martha Susana Contreras Ortiz.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) ha surgido como una herramienta fundamental en el desarrollo de procesos y gestión documental para la toma de decisiones, en una amplia gama de campos. Se define como una aplicación capaz de llevar a cabo tareas complejas con el objetivo de emular la lógica humana (Oracle Colombia, 2024). Este logro se alcanza mediante el aprendizaje automático (Google Cloud, 2024), que permite al sistema aprender de manera autónoma a través de algoritmos y técnicas, entre ellas las redes neuronales. Estas redes consisten en un conjunto de unidades interconectadas llamadas neuronas artificiales o nodos, que trabajan mancomunadamente para procesar y analizar datos, y presentan una estructura similar al cerebro humano (Universidad Central, 2024). Además, las redes neuronales son entrenadas con grandes conjuntos de datos.

El artículo *Computing Machinery and Intelligence*, publicado por Alan Turing en 1950 (Turing, 1950), fue pionero en este campo al proponer la cuestión de determinar si una máquina podía ser considerada inteligente o no. Esta obra fue un avance crucial que inició la exploración sobre cómo emular el pensamiento humano. Turing también fue coautor del primer programa diseñado para jugar ajedrez, donde se desafiaba la capacidad de jugadores humanos al competir y ser incluso vencidos por una máquina (Turing, 2017). Desde entonces, se han llevado a cabo numerosos proyectos con el objetivo de mejorar las habilidades de aprendizaje de los sistemas a través de la Inteligencia Artificial, buscando cada vez más similitudes con la capacidad y agilidad de procesamiento del cerebro humano.

En la actualidad, gracias al avance y el aumento en las unidades de almacenamiento de los equipos tecnológicos para el manejo de grandes cantidades de datos, la IA ha experimentado una gran evolución. El aprendizaje automático (Oracle Colombia, 2024) y las redes neuronales han permitido aportes significativos, como la conducción autónoma de vehículos y el reconocimiento de voz (IBM, 2024).

No obstante, la Inteligencia Artificial tiene aplicaciones en diversos ámbitos, como el sector financiero, donde se emplea en la detección de fraudes electrónicos y el análisis estadístico para operaciones eficientes.

tes (Boden, 2024). En el ámbito educativo, se utiliza para proporcionar recursos de aprendizaje personalizados y detectar patrones en el proceso de adquisición de conocimientos (Santos Costa, 2024). En el transporte, se aplica en el manejo asistido, automatización de rutas y gestión del tráfico, así como en los servicios de atención al cliente mediante chatbots, asistentes virtuales y sistemas de respuesta automatizados (Oracle Colombia, 2024), ofreciendo una experiencia cómoda a los usuarios. En el campo de la seguridad, la IA permite la detección de ataques cibernéticos, la identificación biométrica y la vigilancia inteligente (Boden, 2024).

Por su parte, en el ámbito médico, la pandemia de COVID-19, que comenzó en 2019, tuvo un impacto significativo, impulsando la adopción de tecnologías como la IA para hacer frente a los desafíos emergentes. Los hospitales, clínicas y proveedores de servicios de salud se vieron obligados a adaptarse rápidamente, lo que llevó a una transformación en la forma en que se proporciona la atención médica y se gestionan los recursos (Organización Panamericana de la Salud, 2024). Para ello fue vital la implementación de tecnologías como la telemedicina.

La telemedicina se destaca como un ejemplo notable del desarrollo de la Inteligencia Artificial para adaptarse a emergencias sanitarias, provocadas por pandemias y situaciones naturales como terremotos. Consiste en conectar al paciente con el médico cuando no están en el mismo lugar (Organización Panamericana de la Salud, 2024), con el objetivo de preservar la salud y seguridad de la persona que solicita el servicio. A través de ella se puede recurrir a consultas virtuales como medida preventiva. Estas consultas facilitan la comunicación entre médicos y pacientes, permitiendo monitorear y dar seguimiento oportuno a las personas que requieren atención médica, pero cuya situación no permitía acudir físicamente a un centro de salud, debido, por ejemplo, a una crisis de salud pública (Organización Panamericana de la Salud, 2024). La implementación de la telemedicina con el respaldo de la Inteligencia Artificial no solo garantizó la continuidad de la atención médica durante tiempos difíciles, sino que también demostró el potencial de la tecnología para adaptarse y responder eficazmente a las emergencias sanitarias (Monraz-Pérez et al., 2021). La Inteligencia Artificial desempeñó un papel crucial en la respuesta a la crisis sanitaria a nivel mundial, al facilitar el desarrollo ágil de herramientas de detección y diagnóstico

(Monraz-Pérez et al., 2021). Estos sistemas fueron capaces de analizar imágenes médicas, como las tomografías computarizadas, para identificar de manera precisa y rápida la presencia del virus en los pulmones. Además, permitió una gestión eficiente de los recursos médicos y hospitalarios, lo que resultó fundamental para la planificación y ejecución de estrategias de respuesta efectivas ante la emergencia sanitaria.

Los beneficios de la Inteligencia Artificial en el ámbito de la medicina son numerosos. En el campo de las cirugías, la IA sirve como una herramienta invaluable para los cirujanos, proporcionando orientación en tiempo real que mejora significativamente la precisión de las intervenciones quirúrgicas (Lanzagorta-Ortega, Carrillo-Pérez, & Carrillo-Esper, 2022). Esto no solo puede conducir a resultados quirúrgicos más exitosos, sino que también puede reducir el tiempo de recuperación de los pacientes y minimizar el riesgo de complicaciones postoperatorias.

Además, la IA puede contribuir a la reducción de costos tanto para los pacientes como para las entidades de salud. La capacidad de la IA para realizar diagnósticos precisos y tempranos puede detectar enfermedades antes de que se desarrollen por completo, lo que resulta en tratamientos más efectivos, oportunos y sencillos a largo plazo. Asimismo, al optimizar los procesos de atención médica y mejorar la eficiencia operativa, la IA puede ayudar a reducir los costos generales de atención médica para los sistemas de salud.

La IA ha emergido como una herramienta crucial en una amplia gama de campos dentro del área de la salud. Tal es el caso de la odontología. En este contexto, la aplicación de la IA está transformando la práctica odontológica y mejorando la calidad de vida de los pacientes (Dental Tribune, 2024). La estética dental se ha convertido en un tema de gran interés de la odontología moderna, donde la IA desempeña un papel significativo al facilitar a los dentistas diseñar sonrisas personalizadas para cada paciente. Utilizando avanzados algoritmos, la IA analiza imágenes faciales y modelos digitales de los dientes, lo que permite simular con precisión los resultados de diferentes tratamientos estéticos, como blanqueamiento dental, ortodoncia e implantación de carillas dentales (Dental Tribune, 2024). Esta capacidad no solo ayuda a los pacientes a visualizar la proyección de los resultados, sino que también permite a

los profesionales de la odontología tomar decisiones informadas y ajustar los tratamientos según sea necesario.

Sin embargo, es importante reconocer que la implementación de la Inteligencia Artificial en el campo de la medicina conlleva desafíos y limitaciones. Uno de los principales obstáculos es el alto costo asociado con la adopción inicial y el desarrollo de tecnologías de IA (EUROINNOVA, 2024). Esto puede dificultar la disponibilidad y accesibilidad de la IA en regiones o comunidades donde los recursos financieros son limitados. Además, la necesidad de entrenar y mantener sistemas de IA requiere una inversión continua en tiempo y recursos humanos, lo que puede ser de difícil acceso para algunas instituciones de salud.

Dado el impacto y los retos que enfrenta la vinculación de la IA en esta área, este artículo examina las aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Odontología mediante una revisión de literatura, basada en la metodología *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (PRISMA, 2024), con el fin de:

Realizar un análisis de los algoritmos implementados por la IA en odontología.

Identificar los campos y condiciones odontológicas donde se aplica la IA.

Este artículo examina los aportes realizados en el área odontológica por medio de la Inteligencia Artificial. Para ello se revisaron distintos tipos de documentos para estudiar las principales contribuciones. El documento comprende las siguientes secciones: SECCIÓN II muestra la metodología utilizada en la revisión sistemática. SECCIÓN III presenta los principales hallazgos de este estudio. SECCIÓN IV presenta la discusión de los resultados. Finalmente, SECCIÓN V Incluye las conclusiones.

METODOLOGÍA

En la presente revisión se aplicó la metodología PRISMA (PRISMA, 2024) para el análisis de la información. El proceso consistió en identificar y estructurar los desafíos y avances clave en el uso de la IA en odontología. Posteriormente, se examinaron las tecnologías utilizadas en este contexto, así como las áreas específicas de aplicación de la IA en la práctica odontológica.

Los pasos seguidos durante la revisión sistemática de la literatura, siguiendo las recomendaciones dadas en PRISMA (2024), incluyeron: 1) formular preguntas de investigación para guiar la revisión; 2) establecer las cadenas de búsqueda y aplicarlas en las bases de datos escogidas para ejecutar la consulta; 3) seleccionar y evaluar críticamente los estudios incluidos; y 4) analizar y sintetizar los hallazgos encontrados en los estudios seleccionados.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

La Tabla 1 presenta las preguntas de investigación de interés para el estudio y las razones por las que se eligieron.

Tabla 1
Planteamiento de preguntas de investigación y motivaciones.

ID	Pregunta de investigación	Motivación
RQ1	¿Cuáles son los algoritmos implementados por la IA en odontología?	Conocer los algoritmos que se usan para aplicar la IA en el ámbito odontológico.
RQ2	¿En cuáles condiciones odontológicas ha sido aplicada la IA con fines de diagnóstico o tratamiento?	Conocer las condiciones Odontológicas en las cuales se aplica la IA y qué proceso se sigue para su implementación

Nota. Elaboración propia (2025).

BÚSQUEDA DE LITERATURA

Fuentes de datos: La investigación incluyó una búsqueda en dos bases de datos especializadas: Science Direct y Scopus. Para la revisión se destacaron elementos fundamentales como: título, palabras claves y resumen, de diferentes tipos como: artículos, libros y revistas, de los cuales se identificaron artículos relevantes que contribuyen a la solución de los interrogantes.

Cadenas de búsqueda: Las cadenas de búsqueda aplicadas combinaron la palabra “MEDICINE” junto al operador lógico “and”, para indexar algunos términos complementarios. Los términos usados fueron: “AI”, “AI Technologies”, “AI Applications”, como se muestra en la Tabla 2. Estas palabras claves permitieron encontrar documentos importantes donde presentan los avances que ha tenido la medicina por medio de la Inteligencia Artificial, resaltando las especialidades donde se aplica.

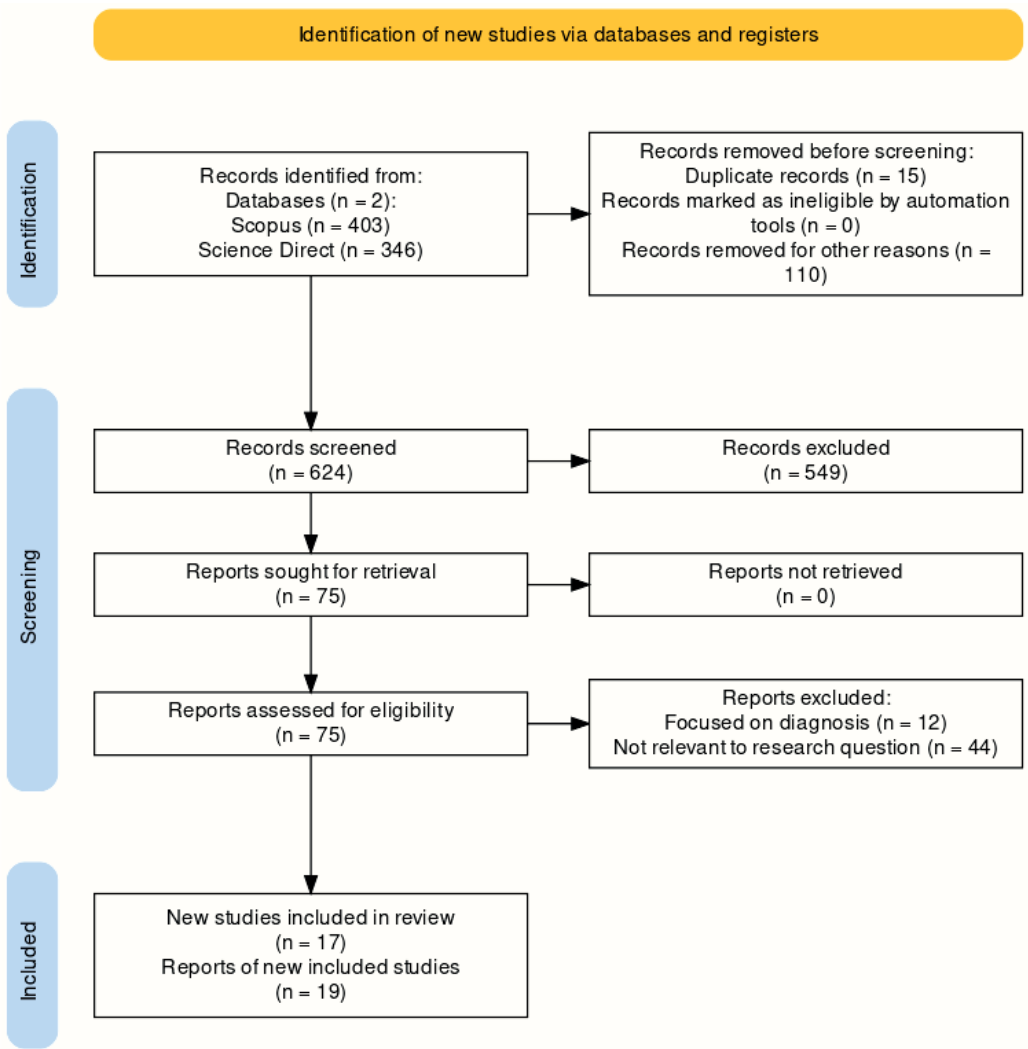
Tabla 2
Cadenas de búsqueda aplicadas.

Temas específicos	Total	Selección
“AI” AND “odontology”	717	13
“Technologies AI” AND “odontology”	23	4
“Application AI “ AND “odontology”	9	2
TOTAL	749	19

Nota. Elaboración propia (2025).

SELECCIÓN DE ESTUDIOS

La búsqueda inicial en bases de datos electrónicas arrojó un total de 749 estudios publicados entre 2020 y 2024. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo de la revisión sistemática, siguiendo la metodología PRISMA (2024) utilizada en este artículo. Este proceso se desarrolló en tres etapas:



Nota. estudios preseleccionados e incluidos. Fuente: Elaboración propia (2025).

EVALUACIÓN DE CALIDAD

Para evaluar los criterios de calidad de los estudios durante el proceso de selección, se establecieron varios criterios clave. El principal factor de calidad considerado fue si el documento respondía a una o ambas preguntas de investigación planteadas en esta revisión. Además, se verificó que los documentos fueran publicaciones

investigativas, lo que significa que debían presentar resultados originales excluyendo revisiones sistemáticas, con el fin de emplear análisis exhaustivos.

Se obtuvo como resultado un total de 19 estudios que cumplen con los criterios de calidad.

RESULTADOS

En esta sección se encuentran los hallazgos de la revisión bibliográfica y se dará respuesta a las preguntas de investigación planteadas inicialmente, se muestran algunas gráficas que representan la clasificación de los datos obtenidos.

Análisis de los papers seleccionados:

Tras una minuciosa revisión y selección de datos provenientes de diversas bases de datos especializadas, se identificaron y clasificaron 19 artículos que cumplieran con los criterios de selección y abordaban las interrogantes planteadas. Estos fueron organizados según el tipo de documento y año de publicación como lo muestra la Tabla 3, destacando que la mayoría de los documentos seleccionados corresponden a informes de conferencia, dado que ofrecen resultados de investigaciones aplicadas, fundamentales para respaldar el uso de algoritmos ya implementados. Por otro lado, los capítulos de libros fueron los menos seleccionados debido a la limitada accesibilidad a la información. Se observó un incremento notable en la cantidad de documentos seleccionados entre 2022 y 2023, indicando un crecimiento continuo en la investigación en inteligencia artificial. Este aumento también se refleja en el presente año respecto a 2020, denotando un progreso ascendente en el campo investigativo.

Tabla 3
Año de publicación y tipo de estudios primarios.

Año Tipo de publicación	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Capítulo de libro	0	2	0	0	0	2
Informes de conferencia	1	1	4	4	0	10
Artículo	0	1	2	2	2	7
Total	1	4	6	6	2	19

Nota. Elaboración propia (2025).

La Tabla 4 muestra los hallazgos resultantes del análisis de los estudios primarios, se encuentra una descripción de la información relevante para la construcción del artículo.

Tabla 4
Algoritmos de IA aplicados, enfermedades diagnosticadas y resumen de las principales contribuciones de (N=19) estudios primarios.

Tipo de trabajo	Nombre	Descripción
Capítulo de libro	Oral implantology with artificial intelligence and applications of image analysis by deep learning (Rabie et al., 2021)	Los autores realizaron una comparación de varios estudios donde se implementaron modelos de aprendizaje con el fin de mejorar la precisión en el área de implantología oral, desarrollando técnicas de Machine Learning y Deep Learning. Mediante redes neuronales convolucionales (CNN), máquinas de vectores de soporte (SVM), Naive Bayes, y árboles de decisión.

Tipo de trabajo	Nombre	Descripción
Capítulo de libro	Diagnosing and imaging in oral pathology by use of artificial intelligence and deep learning (Rabie et al., 2021)	Se mencionan estudios de modelos para la precisión cáncer oral, lesiones malignas y premalignas, trastornos orofaciales, y procedimientos que se adaptan a las necesidades de los pacientes, mejorando la eficacia y elección del tratamiento personalizado mediante uso de aplicaciones de IA empleando Redes Neuronales Artificiales (ANN), Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Árboles de Decisión, Redes Neuronales Convolucionales (CNN).
Artículo	The learning curve of artificial intelligence for dental implant treatment planning: A descriptive study (Roongruangsilp & Khongkhunthian, 2021)	En este estudio se investiga la curva de aprendizaje de la IA desarrollada para la planificación de implantes dentales en la región maxilar posterior mediante el uso de imágenes. Se usó la plataforma IBM PowerAI Vision y se aplicó el algoritmo Faster R-CNN.
Artículo	Generative AI for Transformative Healthcare... (Sai et al., 2024)	Este artículo considera la IA generativa y los modelos aplicables para diagnóstico de enfermedades. Se describe ChatGPT como herramienta representativa, aplicable también en tomografías computarizadas y planificación de implantes dentales.
Artículo	Detection of Tooth Position by YOLOv4... (Li et al., 2024)	Se evalúa el modelo YOLOv4 para identificar posición dental en radiografías y detectar enfermedades con CNN como AlexNet, junto con técnicas como filtrado gaussiano y binarización adaptativa.
Informe de conferencia	AI Techniques for Cone Beam Computed Tomography in Dentistry: Trends and Practices (Sarwar & Jabin, 2023)	La tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) hace uso de imágenes en 3D con algoritmos como CNN MS-D, FCN, DenseNet, Dental YOLO, entre otros, aplicados a segmentación y clasificación dental.

Tipo de trabajo	Nombre	Descripción
Informe de conferencia	Artificial Intelligence Algorithms and Techniques for Dentistry (Kahurke, 2023)	Aplicación de aprendizaje automático mediante transferencia, SIFT-SVM, CNN, con énfasis en endodoncia, ortodoncia y periodoncia.
Informe de conferencia	Artificial Intelligence in Orthodontics - An exposition (Blessy & Sornam, 2022)	Uso de imágenes panorámicas para diagnóstico ortodóntico. Se mencionan técnicas como CAD/CAM y algoritmos como ANN, árboles de decisión, k-medias, SVM y random forest.
Artículo	Prediction of Dental Implants Using Machine Learning Algorithms (Alharbi & Almutiq, 2022)	Evaluación de algoritmos como red bayesiana, random forest, AdaBoost, para predecir necesidades de implantes dentales.
Informe de conferencia	Constructing Machine Learning models for Orthodontic Treatment Planning... (Shojaei & Augusto, 2022)	Evaluación de 7 algoritmos ML para planificación de tratamiento de maloclusiones mediante análisis de imágenes.
Informe de conferencia	Deep Learning based Object Detection Algorithm... (Thulaseedharan & Lal Priya, 2022)	Aplicación del algoritmo YOLOv5 para detección de caries, raíz residual, y asignación de tratamientos en base a diagnóstico radiográfico.
Informe de conferencia	Dental Positioning Medical Assistance System for BW Radiograph Based on YOLOV4 (Lin et al., 2023)	Estudio sobre sistema asistido por IA con radiografías de mordida para posicionamiento dental utilizando YOLOv4.
Informe de conferencia	Detection of typical Pathologies... in Dental Panoramic X-Rays (Thulaseedharan & Lal Priya, 2023)	Uso de radiografías panorámicas e IA (YOLOv6) para detección de patologías como caries, implantes y enfermedades periodontales.
Informe de conferencia	Diseases Classification Utilizing Tooth X-ray Images... (Deng et al., 2020)	Uso de CNN para clasificar enfermedades dentales (caries, empastes, dientes normales o anormales) a partir de imágenes radiográficas.
Informe de conferencia	Smart Odontogram: Dental Diagnosis of Patients Using Deep Learning (Fadhillah et al., 2021)	Sistema de historia clínica con Big Data y Deep Learning, usando cámaras intraorales para detectar caries, placa, periodontitis, etc.

Tipo de trabajo	Nombre	Descripción
Informe de conferencia	To Use a Quick R-CNN Algorithm... Tooth Diagnostics (Singh & Abrol, 2022)	Evaluación del algoritmo Faster R-CNN con redes conectadas para predetección de enfermedades dentales en imágenes.
Artículo	AI Techniques for Automatic Detection of Peri-implant Marginal Bone Remodeling... (Vera et al., 2023)	Uso de YOLOv3 para detección automática de pérdida ósea periimplantaria en radiografías intraorales.
Artículo	Uses of Different Machine Learning Algorithms for Diagnosis of Dental Caries (Talpur et al., 2022)	Comparación de varios algoritmos ML (ANN, ADA-NN, RF) para diagnóstico de caries usando imágenes intraorales y radiográficas.
Artículo	Detection of Various Dental Conditions on Dental Panoramic Radiography Using Faster R-CNN (Chen et al., 2023)	Uso de Faster R-CNN combinado con CNN y filtrado para identificar afecciones dentales en radiografías panorámicas.

Nota. Elaboración propia (2025).

La Figura 2 presenta un mapa general de las palabras claves relevantes encontradas en las búsquedas de Scopus. El gráfico se realiza mediante la aplicación VOSviewer. Donde se destacaron 3 clústeres:

Clúster 1: Corresponde al color verde, se centra en la inteligencia artificial como eje principal, siendo el campo principal de búsqueda. Se incluyen subtemas como odontología y algoritmos como redes neuronales y redes neuronales convolucionales, junto con Machine Learning, crucial para el procesamiento y manejo de datos.

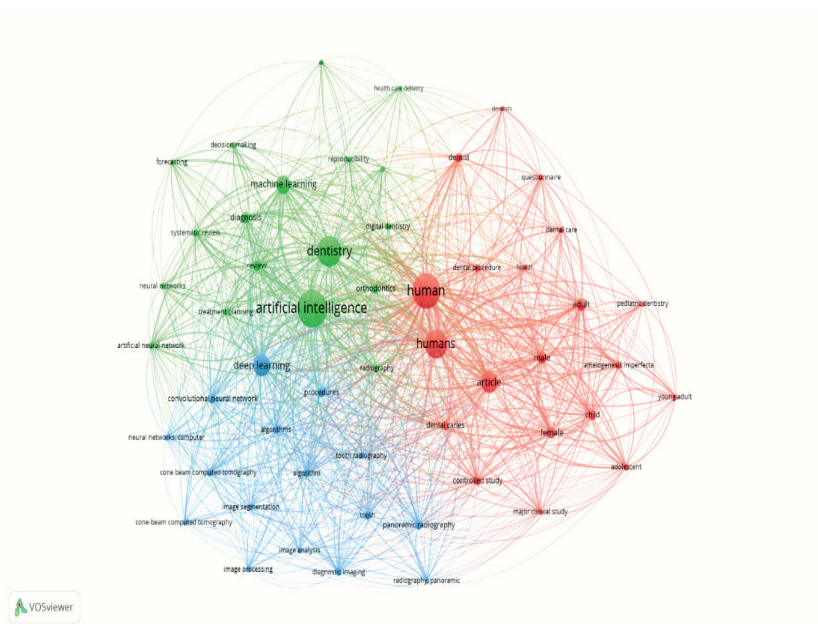
Clúster 2: Representado en color rojo, se refiere a la parte humana, abordando géneros y edades de las personas relacionadas en los estudios, así como su conexión con odontólogos y estudios afines.

Clúster 3: Señalado en color azul, resalta el área de deep learning como destacada dentro de la inteligencia artificial, especialmente apta para grandes volúmenes de datos utilizados en entrenamiento y pruebas.

Este clúster incluye algoritmos y tipos de imágenes utilizados en diagnósticos como radiografías panorámicas y radiografías orales.

Figura 2

Mapa basado en datos bibliográficos que refleja tendencias en palabras clave.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

Respuestas a las preguntas de investigación: La Inteligencia Artificial hace uso de distintos tipos de imágenes para analizar el estado del paciente, como la tomografía computarizada de haz cónico Figura 3 (Sawar & Jabin, 2023). Este tipo de examen está orientado a diagnosticar y planificar el tratamiento de enfermedades bucales y consta de imágenes tridimensionales detalladas de los dientes, los maxilares y las estructuras circundantes. Otras imágenes son las radiografías panorámicas Figura 4 (Blessy & Sornam, 2022), las cuales tienen menos exposición a la radiación, son más precisas y de alta resolución. Además, se encontraron radiografías de mordida Figura 5 (Blessy & Sornam, 2022; Lin et al., 2023), cuyas imágenes se capturan mediante una pestaña de papel o plástico que se adjunta y, cuando el paciente muerde, permite filmar el diente y otras diferencias en profundidad.

Figura 3

Tomografía computarizada de haz cónico.



Nota. Tomografía computarizada de haz cónico basada en Sarwar & Jabin, 2023. Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 4

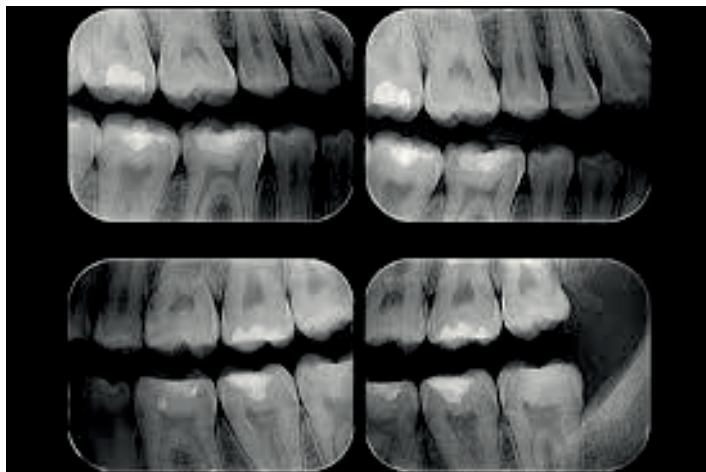
Radiografía panorámica.



Nota. Tomografía computarizada de haz cónico basada en Blessy & Sornam, 2022. Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 5

Radiografía de mordida.



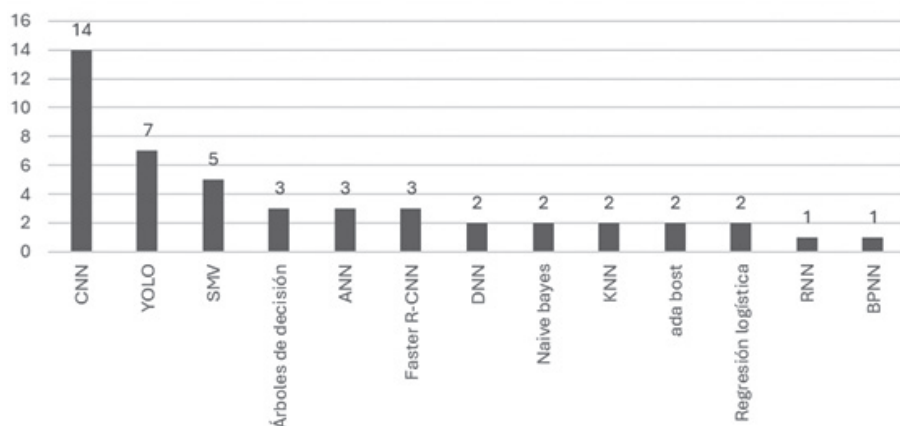
Nota. Tomografía computarizada de haz cónico basada Blessy & Sornam, 2022; Lin et al., 2023. Fuente: Elaboración propia (2025).

RQ1. ¿Cuáles son los algoritmos implementados por la IA en odontología?

Analizando la Figura 6 se evidencia, que los algoritmos más empleados dentro de la Inteligencia Artificial en el contexto de la odontología son las Redes Neuronales (siglas terminadas en NN debido a su sigla en inglés Neural Networks), especialmente las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), junto con el modelo YOLO en sus diferentes versiones.

Figura 6

Frecuencia de los algoritmos dentro de los estudios primarios.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

Dentro de la Inteligencia Artificial se resalta el aprendizaje automático, estudiado desde distintas áreas orientadas al aprendizaje, como *Machine Learning* y *Deep Learning* (Rabie et al., 2021). Se evidenció el desarrollo de varios algoritmos que se pueden clasificar de acuerdo con las técnicas de aprendizaje.

APRENDIZAJE SUPERVISADO

Se usan conjuntos de datos etiquetados. Luego de completar el entrenamiento, el modelo se testea usando los datos del subconjunto de pruebas y se predice el resultado; dentro de esta área se encuentran algoritmos como las Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) (Rabie et al., 2021; Sarwar & Jabin, 2023; Talpur et al., 2022). Este algoritmo se usa para separar las dimensiones de un plano en clases para que se puedan separar los datos que procesará el sistema; se encuentran los árboles de decisión, que contienen dos fases: a) construcción de árboles, donde los datos se dividen de forma recursiva hasta que todos los elementos de datos pertenecen a la misma etiqueta de clase, y b) poda de árboles, la cual se utiliza para mejorar la precisión de predicción y clasificación del algoritmo minimizando el sobreajuste (Shojaei & Augusto, 2022).

La regresión logística es otro algoritmo que permite la evaluación de múltiples variables explicativas por extensión de los principios básicos, mediante una ecuación general (Shojaei & Augusto, 2022). Otro algoritmo son las redes neuronales profundas (DNN), que contienen un enfoque para distinguir con precisión características específicas de una imagen (Sarwar & Jabin, 2023). Esta técnica permite realizar predicciones basadas en los datos de entrenamiento etiquetados. La cantidad de datos requeridos varía de acuerdo con la complejidad del modelo y la cantidad de características, sin embargo, una mayor cantidad de datos con un manejo adecuado, garantizan la calidad del algoritmo.

APRENDIZAJE NO SUPERVISADO

En este tipo de aprendizaje, los datos usados no son etiquetados. El modelo debe encontrar patrones por sí mismo que le permitan identificar características claves para el reconocimiento y toma de decisiones.

Se encuentran algoritmos de redes neuronales como la red neuronal de retro propagación (Backpropagation Neural Network, BPNN). Es uno de los modelos más básicos, donde las conexiones entre neuronas se ajustan durante el entrenamiento para aumentar la exactitud de las predicciones. Existen otros algoritmos, como la red completamente conectada (Region Proposal Network, RPN), que calcula la probabilidad de elementos exactos mediante métodos de regresión y clasificación, y el algoritmo Faster R-CNN, que permite identificar y categorizar puntos de interés en una imagen de entrada, combinando las redes convolucionales y completamente conectadas (Singh & Abrol, 2022).

El algoritmo KNN predice la etiqueta de una nueva instancia basada en la mayoría de las etiquetas de sus vecinos más cercanos en el espacio de características (Shojaei & Augusto, 2022). Este tipo de aprendizaje es muy útil para la segmentación de datos y la detección de anomalías, donde se requiere que, por medio de los datos de entrenamiento, el modelo reconozca patrones por sí solo.

APRENDIZAJE PROFUNDO

En este tipo de aprendizaje se resaltan las redes neuronales convolucionales (CNN) (Blessy & Sornam, 2022; Thulaseedharan & Lal Priya, 2023). De acuerdo con la Figura 6, este algoritmo es el más usado en la aplicación de Inteligencia Artificial en el ámbito de la odontología. Se utiliza para identificación de patrones, reconocimiento de voz, procesamiento del lenguaje natural y otras tareas (Li et al., 2024).

También se encuentran las redes neuronales recurrentes (RNN), que permiten la segmentación (proceso de dividir una imagen CBCT —tomografía computarizada de haz cónico— en regiones o segmentos según su intensidad, textura o forma). Por ejemplo, segmentar un diente de los tejidos circundantes (Sarwar & Jabin, 2023). YOLO (You Only Look Once) es un algoritmo que permite reconocer y predecir las probabilidades de clase de diferentes objetos dentro de una imagen (Thulaseedharan & Lal Priya, 2022; Vera et al., 2023); proporciona una mayor precisión y velocidad, pero también integra varias técnicas de optimización de los recursos (Lin et al., 2023). Estas técnicas requieren de gran cantidad de conjunto de datos para garantizar la calidad de la imagen (Kahurke, 2023).

Estos modelos son entrenados con grandes cantidades de datos a partir de imágenes de pacientes pertenecientes a clínicas, para las cuales se realizan los proyectos de Inteligencia Artificial, con el fin de optimizar los procesos existentes.

RQ2. ¿En cuáles condiciones odontológicas ha sido aplicada la IA con fines de diagnóstico o tratamiento?

En la Figura 7 se muestran los resultados obtenidos de los documentos primarios. Se realizó una clasificación y se representó la frecuencia de las enfermedades abordadas y tratamientos empleados, teniendo en cuenta que un documento podía tratar una o más enfermedades e igualmente varios tratamientos. Las otras enfermedades cuyo nombre no se incluyó son las de menor relevancia y que casi no se estudian.

Dentro de la búsqueda de información realizada, se evidenciaron varias enfermedades odontológicas que pretenden ser tratadas mediante la in-

teligencia artificial. Una de las enfermedades resaltadas es la presencia de caries dentales, la cual se puede clasificar en tres tipos: caries proximal, oclusal y radicular (Talpur et al., 2022). Según la Organización Mundial de la Salud, casi la mitad de la población mundial (45% o 3,5 mil millones de personas) padecen enfermedades bucodentales, y tres de cada cuatro personas afectadas viven en países de ingreso bajo y mediano (OMS, 2024). Estas cifras son alarmantes y requieren de la detección temprana para un correcto tratamiento.

También se destaca la periodontitis, que es una enfermedad que afecta tanto a la encía como al hueso que sostiene el diente (Fadhillah et al., 2021). La detección temprana y el tratamiento de precisión pueden prevenir inconvenientes más graves, como la pérdida de dientes (Li et al., 2024). Otros de los problemas dentales que se pueden tratar mediante la IA son: fluorosis dental, dientes agrietados, cálculos dentales, placa dental y pérdida de dientes (Chen et al., 2023). Estas situaciones son muy comunes, pero no son tan graves y requieren de un tratamiento y control temprano para evitar complicaciones.

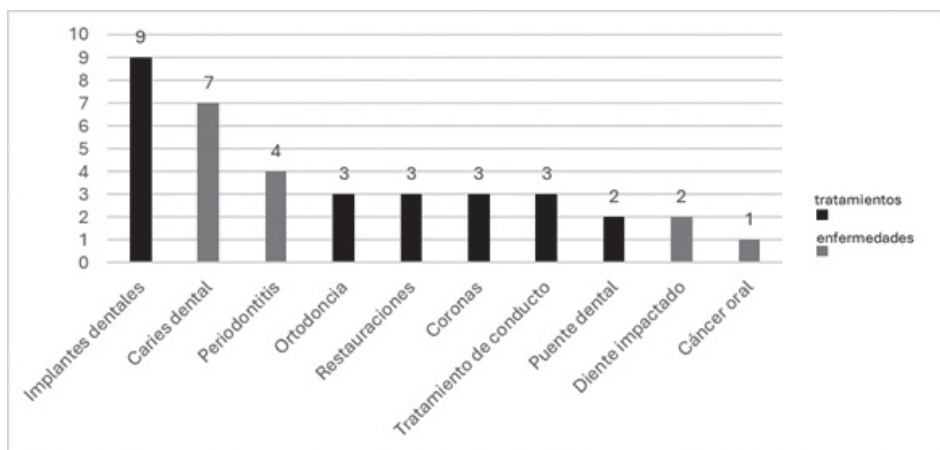
La enfermedad odontológica más grave es el cáncer oral, donde el diagnóstico temprano es fundamental para los pacientes debido al sombrío panorama de la etapa avanzada de la enfermedad (Rabie et al., 2021). Dado que se puede originar en cualquier parte de la boca, muchas veces es difícil de detectar en la etapa inicial, por lo cual requiere de mecanismos tecnológicos que evalúen pequeños síntomas.

En la Figura 7, también se abordan tratamientos odontológicos que se aplican a estas enfermedades. El más relevante es el de los implantes dentales, relacionado principalmente con la calidad ósea de los pacientes, el diagnóstico y una buena planificación del tratamiento (Roongruangsilp & Khongkhunthian, 2021; Sai et al., 2024).

Dentro de las tendencias más relevantes se encontró el área de ortodoncia, que se destaca por detectar y corregir anomalías en el posicionamiento de los dientes (Kahurke, 2023; Thulaseedharan & Lal Priya, 2023). También se emplean los puentes dentales, utilizados para sustituir los dientes perdidos por alguna enfermedad (Thulaseedharan & Lal Priya, 2022).

Figura 7

Frecuencia de enfermedades y tratamientos en los estudios primarios.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

DISCUSIÓN

Otros de los hallazgos de este trabajo evidencian la poca información existente con respecto al cáncer oral, que es una de las enfermedades más graves que afectan la salud bucal. Según el National Cancer Institute, en 2024 se estiman 58.450 casos nuevos (SEER, 2024). Por otra parte, la American Society of Clinical Oncology resalta la importancia de promover la detección temprana. En estudios orientados a población estadounidense, se ha podido identificar que la tasa de supervivencia a 5 años para personas con cáncer oral u orofaríngeo es del 67%; mientras que, cuando se logra detectar en fases tempranas, esta tasa aumenta al 85% (Cancer.Net, 2024).

Estas estadísticas demuestran la importancia de enfocar la visión en esta enfermedad muy poco investigada y donde se pueden generar excelentes resultados con la aplicación de Inteligencia Artificial para lograr un diagnóstico acertado y a tiempo, que permita un tratamiento efectivo y que mejore la calidad de vida de los pacientes.

A partir de los hallazgos obtenidos, se logra inferir que la odontología es un ámbito que involucra tanto a profesionales del área de la salud como de la tecnología, para trabajar mancomunadamente en la elaboración de tecnologías los beneficie tanto a ellos como a la población en general, permitiendo alcanzar una atención médica de calidad.

CONCLUSIONES

Se identificaron varios algoritmos para implementar Inteligencia Artificial en el campo odontológico, donde el más relevante es la utilización de Redes Neuronales Convolucionales (CNN), especialmente debido a la necesidad de manejar imágenes. Este algoritmo es aplicable en el aprendizaje profundo (Deep Learning), para procesar grandes cantidades de datos y garantizar la efectividad del modelo. Por otra parte, los menos investigados son: Redes Neuronales Recurrentes (RNN) y Red Neuronal de Retropropagación (BPNN), ya que existen técnicas más eficientes.

Las enfermedades odontológicas que más se apoyan en la Inteligencia Artificial fueron identificadas mediante el análisis de la revisión bibliográfica, y se proporcionó respuestas a las preguntas planteadas. No obstante, es evidente que las investigaciones han sido orientadas en su mayoría a tratamientos odontológicos.

Se evidenció la falta de investigación en el cáncer oral, lo que sugiere un área de exploración para generar tecnologías que beneficien a los pacientes y aporten al campo médico, siendo las caries dentales las enfermedades con más investigaciones y hallazgos obtenidos.

El tratamiento más beneficiado de la IA según estos estudios es el implante dental, por ser una solución que integra la salud oral y la estética dental de manera sutil. En contraste, el puente dental se considera menos favorable debido a su durabilidad limitada, dificultades de higiene y menos atractivo visual. Por esta razón, en muy pocos casos se opta por este tratamiento.

La Inteligencia Artificial es un gran apoyo para el área odontológica, al proyectar resultados prometedores en innovación, para tratamientos y

diagnósticos automatizados y precisos, además de una experiencia satisfactoria para profesionales y pacientes.

REFERENCIAS

- Alharbi, M. T., & Almutiq, M. M. (2022). Prediction of dental implants using machine learning algorithms. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7307675>
- Blessy, J. J., & Sornam, M. (2022). Artificial intelligence in orthodontics - An exposition. In *Proceedings - 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC 2022)* (pp. 1335–1339). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCMC53470.2022.9753994>
- Boden, M. A. (2024). *Inteligencia artificial*. <https://books.google.es/books?id=LCnYDwAAQBAJ>
- Cancer.Net. (2024). *Cáncer oral y orofaríngeo: Estadísticas*. <https://www.cancer.net/es/tipos-de-c%C3%A1ncer/c%C3%A1ncer-oral-y-orofar%C3%ADngeo/estad%C3%ADsticas>
- Chen, S. L., et al. (2023). Detection of various dental conditions on dental panoramic radiography using Faster R-CNN. *IEEE Access*, 11, 127388–127401. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3332269>
- Dental Tribune. (2024). *DT News - Latin America - La inteligencia artificial en la odontología (2)*. <https://la.dental-tribune.com/news/la-inteligencia-artificial-en-la-odontologia-2/>
- Deng, L. Y., Ho, S. S., & Lim, X. Y. (2020). Diseases classification utilizing tooth x-ray images based on convolutional neural network. In *Proceedings - 2020 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C 2020)* (pp. 300–303). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IS3C50286.2020.00084>
- EUROINNOVA. (2024). *Ventajas y desventajas de la inteligencia artificial*. <https://www.euroinnova.co/blog/latam/ventajas-y-desventajas-inteligencia-artificial>
- Fadhillah, E. D., Bramastagiri, P. C., Sigit, R., Sukaridhoto, S., Brahmanta, A., & Dewantara, B. S. B. (2021). Smart Odontogram: Dental diagnosis of patients using deep learning. In *International Electronics Symposium 2021 (IES 2021)* (pp. 532–537). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IES53407.2021.9594027>

- Finlayson, A. F., & Epifanio, R. (n.d.). *La tomografía computarizada de haz cónico: Resumen*.
- Google Cloud. (2024). *¿Qué es el aprendizaje automático?* <https://cloud.google.com/learn/what-is-machine-learning?hl=es-419>
- IBM. (2024). *¿Qué es el reconocimiento del habla?* <https://www.ibm.com/mx-es/topics/speech-recognition>
- Kahurke, S. (2023). Artificial intelligence algorithms and techniques for dentistry. In *2023 1st International Conference on Cognitive Computing and Engineering Education (ICCCEE 2023)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCCEE55951.2023.10424481>
- Lanzagorta-Ortega, D., Carrillo-Pérez, D. L., & Carrillo-Esper, R. (2022). Artificial intelligence in medicine: Present and future. *Gaceta Médica de México*, 158, 55–59. <https://doi.org/10.24875/GMM.M22000688>
- Li, K. C., et al. (2024). Detection of tooth position by YOLOv4 and various dental problems based on CNN with bitewing radiograph. *IEEE Access*, 12, 11822–11835. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3348788>
- Lin, M. F., et al. (2023). Dental positioning medical assistance system for BW radiograph based on YOLOv4. In *APSIPA ASC 2023* (pp. 910–917). IEEE. <https://doi.org/10.1109/APSIPAASC58517.2023.10317168>
- Monraz-Pérez, S., et al. (2021). Telemedicine during the COVID-19 pandemic. *Neumología y Cirugía de Tórax (México)*, 80(2), 132–140. <https://doi.org/10.35366/100996>
- National Cancer Institute. (2024). *Cáncer de cavidad bucal y faringe: Datos estadísticos sobre el cáncer*. <https://seer.cancer.gov/stat-facts/html/oralcav.html>
- OMS. (2024). *La OMS destaca que el descuido de la salud bucodental afecta a casi la mitad de la población mundial*. <https://www.who.int/es/news/item/18-11-2022-who-highlights-oral-health-neglect-affecting-nearly-half-of-the-world-s-population>
- Oracle Colombia. (2024). *¿Qué es la inteligencia artificial (IA)?* <https://www.oracle.com/co/artificial-intelligence/what-is-ai/>
- Oracle Colombia. (2024). *¿Qué es el aprendizaje automático?* <https://www.oracle.com/co/artificial-intelligence/machine-learning/what-is-machine-learning/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2024). *COVID-19 y telemedicina*. <https://www3.paho.org/ish/index.php/es/telemedicine>

- Panorámica de maxilares - Radiología dental Sur de Quito. (2024). <https://dentixray.com/rx-panoramica-digital/>
- PRISMA. (2024). *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*. <http://www.prisma-statement.org/?Aspx-AutoDetectCookieSupport=1>
- Rabie, K., Karthik, C., Chowdhury, S., & Dutta, P. K. (2021). *Deep learning in medical image processing and analysis*. <https://www.theiet.org/publishing/publishing-with-iet-books/>
- Roongruangsilp, P., & Khongkhunthian, P. (2021). The learning curve of artificial intelligence for dental implant treatment planning: A descriptive study. *Applied Sciences*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/app112110159>
- Sai, S., Gaur, A., Sai, R., Chamola, V., Guizani, M., & Rodrigues, J. J. P. C. (2024). Generative AI for transformative healthcare: A comprehensive study of emerging models, applications, case studies, and limitations. *IEEE Access*, 12, 31078–31106. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3367715>
- Santos Costa. (2024). *Inteligencia artificial en la educación*. https://www.google.com.co/books/edition/Inteligencia_Artificial_en_la_Educaci%C3%B3n/vO_aEAAQBAJ
- Sarwar, S., & Jabin, S. (2023). AI techniques for cone beam computed tomography in dentistry: Trends and practices. In *REEDCON 2023* (pp. 226–231). IEEE. <https://doi.org/10.1109/REEDCON57544.2023.10151069>
- SEER. (2024). *Cáncer de cavidad bucal y faringe: Datos estadísticos sobre el cáncer*. <https://seer.cancer.gov/statfacts/html/oralcav.html>
- Shojaei, H., & Augusto, V. (2022). Constructing machine learning models for orthodontic treatment planning: A comparison of different methods. In *IEEE Big Data 2022* (pp. 2790–2799). <https://doi.org/10.1109/BigData55660.2022.10021045>
- Singh, K., & Abrol, M. (2022). To use a Quick R-CNN algorithm: An automated strategy for tooth diagnostics. In *SMART 2022* (pp. 1160–1164). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMART55829.2022.10047030>
- Talpur, S., Azim, F., Rashid, M., Syed, S. A., Talpur, B. A., & Khan, S. J. (2022). Uses of different machine learning algorithms for diagnosis of dental caries. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5032435>

- Thulaseedharan, A., & Lal Priya, P. S. (2022). Deep learning based object detection algorithm for the detection of dental diseases and differential treatments. In *INDICON 2022*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/INDICON56171.2022.10040109>
- Thulaseedharan, A., & Lal Priya, P. S. (2023). Detection of typical pathologies and differential treatments in dental panoramic X-rays based on deep convolutional neural network. In *ICCC 2023*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCC57789.2023.10165614>
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460. <https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238>
- Turing, A. M. (2017). Turing, Alan Mathison (23 June 1912–7 June 1954), Reader in Mathematics, Manchester University, since 1948. In *Who Was Who*. <https://doi.org/10.1093/ww/9780199540884.013.u243891>
- Universidad Central. (2024). *¿Qué son las redes neuronales y cómo funcionan?* <https://www.ucentral.edu.co/noticentral/redes-neuronales>
- Vera, M., et al. (2023). Artificial intelligence techniques for automatic detection of peri-implant marginal bone remodeling in intraoral radiographs. *Journal of Digital Imaging*, 36(5), 2259–2277. <https://doi.org/10.1007/s10278-023-00880-3>

CAPÍTULO 3: TRANSFORMACIÓN DIGITAL

Estado del conocimiento sobre la gestión integral de riesgos en procesos de negocio de pymes de Tunja (Boyacá): un análisis scientométrico y bibliográfico

Laura Sofía Guío Camargo¹

RESUMEN

La aplicación efectiva de la gestión de procesos de negocio es un factor clave para el cumplimiento de los objetivos y metas empresariales. Además, la gestión de los procesos facilita la detección de los riesgos que pueden afectar el desempeño de una organización. La gestión integral del riesgo contribuye a la solidez de la organización, debido a que sus stakeholders son conscientes, y están preparados para afrontar los imprevistos que se pueden presentar en el flujo de sus procesos. La gestión y predicción del riesgo también suministra ambientes de mejora continua en diferentes aspectos empresariales. Este paper comprende el trabajo de estado del arte con respecto a la evaluación, gestión y predicción del riesgo, en especial para detectar los trabajos relacionados con soluciones informáticas. El análisis se centra en determinar las características de estas soluciones, sus ventajas, su forma de implementación en las empresas y las brechas existentes. En este paper se muestran los resultados respecto a la revisión bibliográfica realizada para el posterior

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. laura.guioc@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con Yesica Daniela Vargas Espitia y el PhD. Juan Francisco Mendoza Moreno.

modelamiento y desarrollo de la aplicación de gestión integral de riesgo en procesos de negocio.

Palabras clave: Análisis y diseño de software, COSO, Gestión del riesgo, ISO 27001, ISO 31000, Machine Learning, Pymes, Riesgos.

INTRODUCCIÓN

El cumplimiento de los objetivos estratégicos es la pieza clave para la gestión y crecimiento organizacional de las empresas, de manera que cualquier impacto negativo puede afectar en el correcto funcionamiento de la organización y la consecución de estos objetivos, así como los resultados del negocio (Kopia et al., 2017); esto repercute directamente en varios de sus factores como lo es el económico, reputacional y social. El adecuado análisis de la estructura y flujo de los procesos permite detectar a priori posibles anomalías, dependiendo de su severidad y nivel de gestión, que afectan el desempeño de la empresa e incluso su posible cierre. Ante este panorama diversas organizaciones han propuesto marcos normativos para guiar a las empresas en la gestión de sus procesos, tal es el caso de normas y estándares como ISO 31000, COSO y COBIT; estas guías se basan en el riesgo que es definido, por los marcos internacionales ISO 3001 y COSO 2017, como el “Efecto de la incertidumbre sobre los objetivos” (ICONTEC, 2018, p.1) Al entender al riesgo como todo obstáculo que interfiere con la consecución de objetivos estratégicos, se identifican que los mayores riesgos que enfrentan las Pymes (Pequeñas, medianas y micro empresas) en su lucha por permanecer en el mercado son la falta de infraestructura o instalaciones incompletas, un capital de trabajo insuficiente, altos costos en la consolidación de negocios presentados por la baja demanda y producción inicial, cuestiones burocráticas y una gestión ineficaz (Yakob et al., 2019)

Con el auge de nuevas tecnologías y su aplicación en distintos sectores económicos y sociales, en temas financieros se ha evidenciado la importancia de contar con ciertas bodegas de almacenamiento de datos para posteriormente aplicar métodos de Machine Learning que permitan guiar la toma de decisiones (Broby, 2022) por medio de la recolección de datos históricos y actuales (Canhoto & Clear, 2020) En cuanto a la gestión de riesgos, el hecho de que la inteligencia artificial sea de ayuda

a la hora de encontrar los mejores parámetros que permitan reducir el riesgo y brinden cierta ventaja competitiva (Drydak, 2022), hace que los algoritmos sean tentadoras herramientas para acompañar este necesario proceso en las empresas (Hosam, 2022) por esta razón se evidencian distintos productos basados en lógica difusa (Lu et al., 2022) (Galab et al., 2019) (Đurić et al., 2019), algoritmos genéticos (Hosam, 2022) y redes neuronales que son las más utilizadas debido a su matemática no lineal que permite el establecimiento de relaciones significativas entre las variables entrantes y salientes (Hegde & Rokseth, 2020) (Senthil & Muthukannan, 2022) Es aquí donde se identifica la relevancia que ha adquirido las temáticas de aprendizaje automático en el desarrollo de procesos empresariales (Aboutorab et al., 2021)

La estructura de este paper es manejada de la siguiente manera: inicialmente se aborda la metodología utilizada para la realización del análisis bibliográfico y cuantitativo de la temática en la que el proyecto gira en torno, seguido de la identificación de clústeres con la mención de algunos artículos que son representativos de cada uno, posteriormente, se describen los distintos puntos de interés identificados en la actividad investigativa con el fin de encontrar referentes y puntos de quiebre en la temática respecto al manejo de riesgos en las Pymes, implementación de nuevas tecnologías en la identificación, evaluación y tratamiento de riesgos y las metodologías que ayudarán al correcto desarrollo del posterior proyecto investigativo. A continuación, se realiza una discusión de los resultados obtenidos y finalmente se encontrará una serie de conclusiones enfocadas tanto al análisis bibliográfico como a las temáticas desarrolladas a lo largo del presente artículo.

MATERIALES Y MÉTODOS

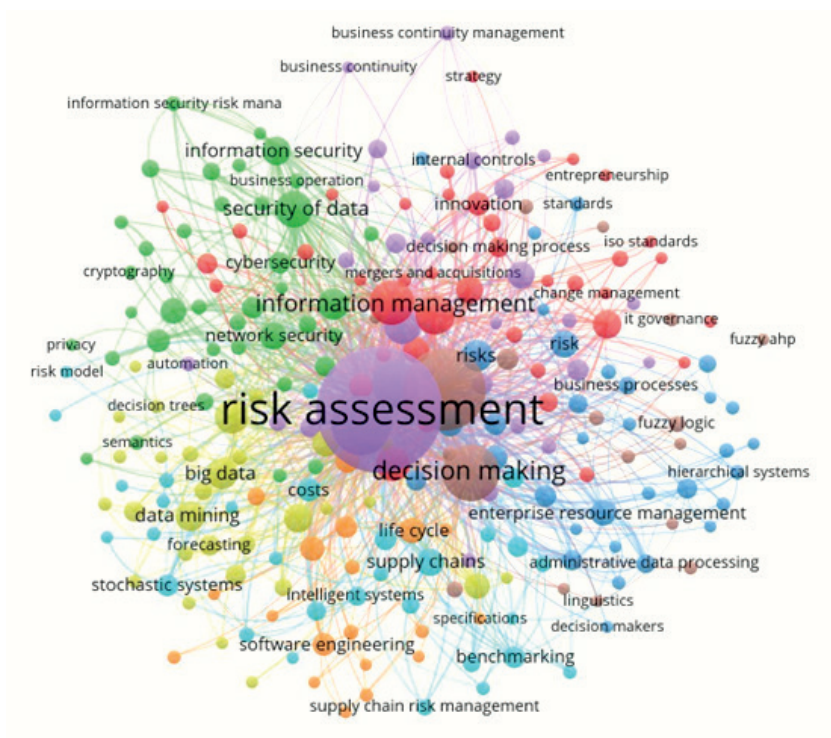
Con el fin de identificar los clústeres y temas de interés particular para la investigación, se realizó una búsqueda bibliográfica enfocada en el tema central de la investigación, esta información se encuentra soportada en bases de datos académicas como Scopus y Web Of Science que son reconocidas por su contenido de investigación multidisciplinar de alta calidad, las palabras claves utilizadas para la consolidación de la ecuación de búsqueda fueron las siguientes: risk, assessment, business y processes; extrayendo así la idea central en la que la investigación girará

en torno. También se tienen en cuenta artículos de revistas científicas encontrados en fuentes como Science Direct, IEEE Xplore y Taylor & Francis Group, además de libros en Springer y normas ISO en el sitio oficial de ICONTEC.

Posterior a la aplicación de filtros, se decidió realizar una red bibliométrica por medio de VosViewer (Van Eck & Waltman, 2014) con el fin de identificar núcleos y ramas que permitieran una perspectiva general del problema central a abordar (Ver Figura 1).

Figura 1

Red bibliométrica, ecuación de búsqueda (risk AND assessment AND business AND processes).



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

En donde se identificaron cuatro clústeres como lo es la gestión de la información (con temáticas como la seguridad de la información, el proceso de toma de decisiones, Inteligencia Artificial, adquisición de

datos y redes bayesianas), Big Data (con artículos referentes a la gestión de la información, toma de decisiones, sistemas estocásticos, analítica avanzada y cadenas de suministro), Gestión de recursos empresariales (con temáticas relacionadas a los sistemas de información, modelado de procesos y gestión de procesos empresariales) y Sistemas de apoyo a la toma de decisiones (haciendo énfasis a la gestión de la información, indicadores clave de rendimiento y evaluación comparativa)

Con el fin de identificar la participación de temáticas estrechamente relacionadas con el objeto de investigación, se hizo uso de la herramienta “ScientoPy”, desarrollada en la Universidad del Cauca, cuyo fin es generar un análisis cientométrico de bases de datos científicas como Scopus y Web Of Science (Ruiz-Rosero et al., 2019). Al realizar el respectivo filtrado, se obtuvieron 623 documentos por parte de la base de datos científica Scopus y 676 en Web Of Science. Una vez los datos fueron añadidos y preprocesados en el software ScientoPy, resultaron 1194 papers en total en los que predominan los artículos científicos y las conferencias (Ver Tabla 1).

Tabla 1

Documento generado a partir del preprocesamiento con ScientoPy a partir de los datos obtenidos de WoS y Scopus.

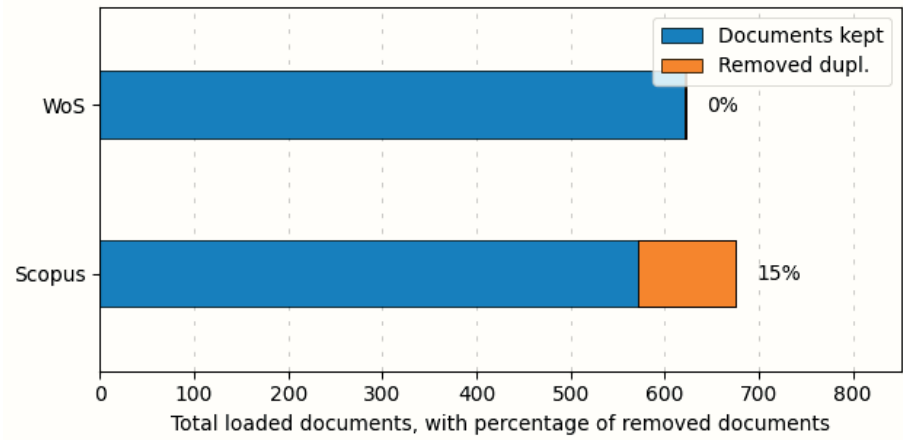
Información	Número	Porcentaje
Total de documentos cargados	1431	-
Documentos omitidos por tipo	132	9.20%
Total de documentos al eliminar los documentos omitidos	1299	-
Documentos cargados de WoS	623	48.0%
Documentos cargados de Scopus	676	52.0%
Eliminación de duplicados		
Documentos duplicados	105	8.10%
Documentos duplicados removidos de WoS	1	0.20%
Documentos duplicados removidos de Scopus	104	15.40%
Total de documentos al eliminar duplicados	1194	-

Información	Número	Porcentaje
Documentos de WoS	622	52.10%
Documentos de Scopus	572	47.90%

Nota. Elaboración propia (2025).

Al generar este filtrado, se obtiene una gráfica de barras que simboliza la cantidad de documentos conservados y filtrados por cada base de datos (Ver Figura 2).

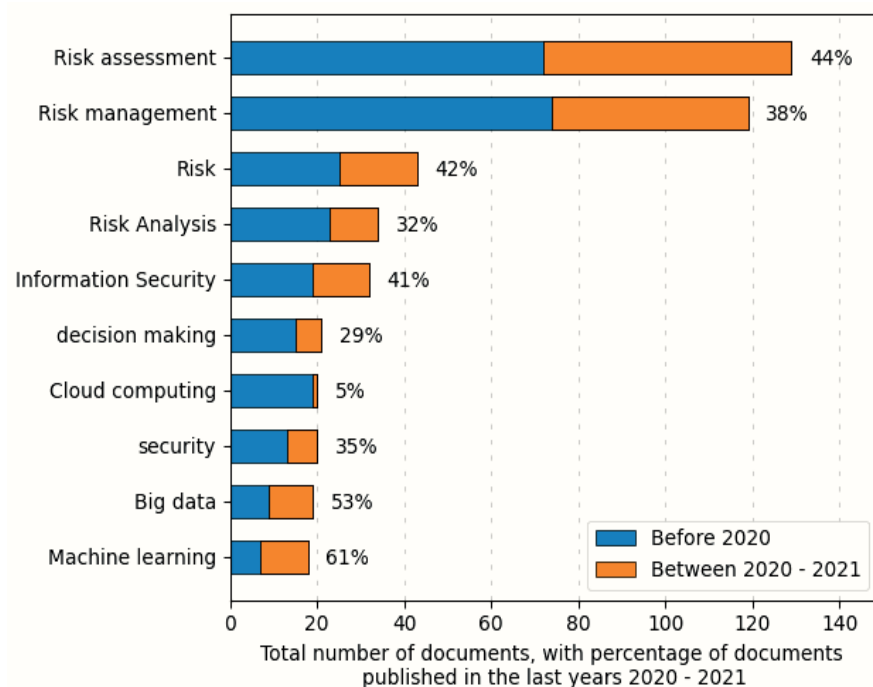
Figura 2
Filtrado de papers en Scopus y Web Of Science (ScientoPy).



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

Con el fin de averiguar la pertinencia de la investigación realizada, se decidió configurar la aplicación de tal manera que se obtuviese una clasificación de los 10 temas más relevantes de la muestra de artículos seleccionada (Ver Figura 3)

Figura 3
10 temas más relevantes en los papers (ScientoPy).



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

Además, se generó una nube de ideas que permitiera tener una visión general de las palabras clave y los puntos centrales tratados en los artículos procesados, notándose así la relevancia de temas como el Machine Learning, el Big Data y computación en la nube en el manejo de riesgos y en su debida evaluación y tratamiento (Ver Figura 4).

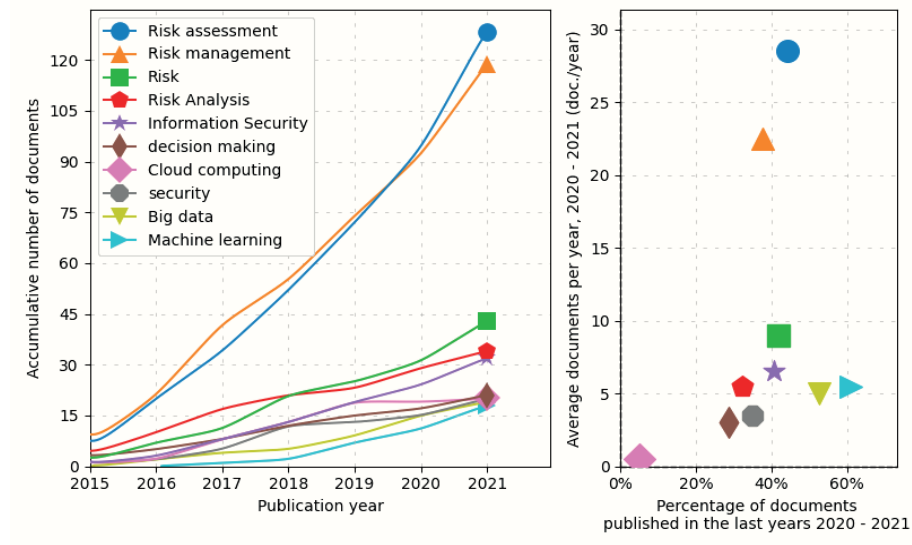
Figura 4
Cloud graph (ScientoPy).



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

También se consideró óptimo el desarrollo de un gráfico de evolución, en donde se destacan las tendencias que existen en la creación de software empresarial enfocado a la gestión y análisis de riesgos (Ver Figura 5).

Figura 5
Gráfica de evolución según palabras clave (ScientoPy).



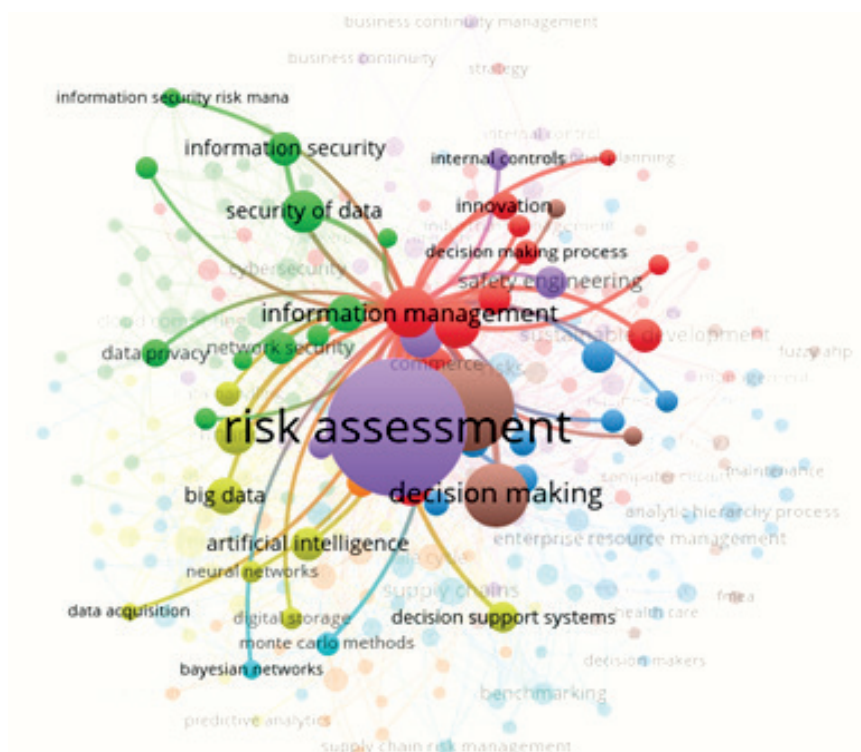
Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

CLÚSTERES DETECTADOS

Teniendo en cuenta la red bibliométrica y los resultados obtenidos de la mano del software cientométrico ScientoPy, los clústeres identificados son los siguientes.

Gestión de la información: En este clúster, se evidencia relación en temas de control e innovación empresarial (Sistemas de información y procesos para la toma de decisiones), uso de tecnologías emergentes (Machine Learning y Big Data), algoritmos (Redes neuronales, redes Bayesianas y método de Montecarlo) y seguridad de la información (Privacidad, manejo y gestión de los datos) (Ver Figura 6).

Figura 6
Cluster de gestión de la información “Information Management”.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

En esta sección podemos encontrar documentos destacados como el de (Imran & Waseem, 2017) en el que se desarrolla un modelo PPT (People, process and Technology) en el que la empresa, ya sea pequeña, mediana o grande, tiene la posibilidad de seleccionar el estándar de gestión de riesgos a usar basado en su contexto empresarial, es una solución ajustable a los recursos limitados con los que una empresa pueda disponer.

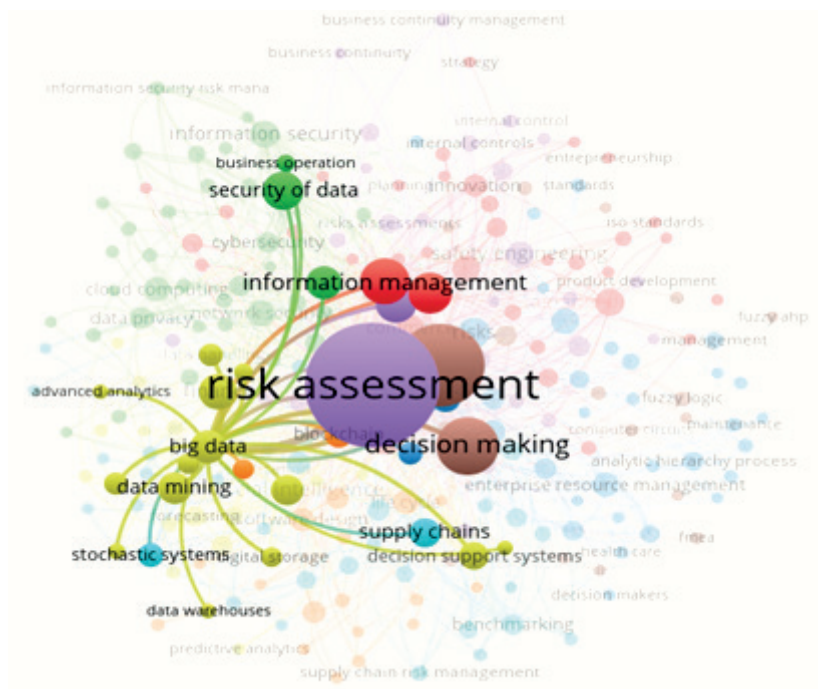
Para (Tereshchenko et al., 2021) la formulación de un sistema de gestión de la información es parte primordial en el proceso de evaluación y tratamiento de riesgos en los procesos empresariales; esto debido a la posibilidad que brinda para determinar el valor de los indicadores y las tendencias, lo cual permite la formulación de estrategias y planes correctivos para el logro de los objetivos empresariales.

El modelo propuesto por (Dyakonova & Odínokov, 2021) se basa en redes bayesianas debido a la complejidad de los ambientes empresariales y de sus respectivos gestores de información. Se resalta la importancia de usar redes bayesianas y redes neuronales, ya que dan la posibilidad de crear rutas predictivas y calcular la probabilidad de desviación en procesos de negocio y se sugiere la efectividad del presente método en el manejo de proyectos y el desarrollo de nuevos productos y servicios.

Según (Ren & Wu, 2022) el rápido crecimiento del comercio electrónico abre la posibilidad de implementar nuevos métodos en el análisis de riesgos, en especial de riesgos financieros, ya que es primordial un estudio detallado que posibilite la optimización de procesos empresariales. Se propone el uso de IoT para el análisis de grandes volúmenes de datos que permitan lograr un mejor manejo de los recursos financieros por medio de una gestión de riesgos cuyo grado de precisión sólo puede ser logrado a través de la tecnología.

Big data: Los temas que giran en torno al clúster hacen referencia a la minería y el análisis avanzado de datos, teniendo en cuenta tecnologías como el Blockchain y la inteligencia artificial. Además, que se relacionan directamente con el manejo de la información, evaluación de riesgos y la toma de decisiones (Ver Figura 7).

Figura 7
Clúster de Big Data.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

Teniendo en cuenta los temas relacionados con el presente clúster, se pueden identificar documentos como (Niesen et al., 2016) en donde se presenta un framework basado en el análisis de datos en tiempo real, combinando técnicas de gestión de riesgos con indicadores de desempeño para así lograr una automatización.

Se evidencian las ventajas que puede traer la implementación de Big Data en el manejo de riesgos de la cadena de suministros en (Raman et al., 2018) donde se destaca el gran aporte al valor por medio del perfeccionamiento de procesos. Ligar el Big Data con el análisis económico y demás tecnologías como el IoT y la computación en la nube trae ventajas operativas que se traducen en reducción de costos y satisfacción del usuario final.

En (Singh, 2022) se identifica el impacto de la analítica de Big Data en los planes de mejora para una infraestructura de gestión de riesgos, estas técnicas no han sido explorada en detalle en cuanto a su efectividad en la habilidad para conseguir resiliencia organizacional. El gran volumen de datos permite el establecimiento de patrones que llevan a la formulación de posibles escenarios empresariales, además la constante innovación en términos económicos, hacen que sean necesarias diversas fuentes de análisis para la toma de decisiones.

Gestión de recursos empresariales: Este clúster se encuentra enfocado netamente en los procesos empresariales donde se tiene en cuenta el manejo de recursos empresariales, el modelado de procesos, la gestión y evaluación de riesgos y los sistemas de información.

Figura 8
Clúster de Gestión de recursos empresariales “Business Process Management”.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

En el documento de (Lhannaoui et al., 2015) se establecen técnicas de gestión de riesgos que llevan a mejoras en los modelos de procesos de negocio, en donde se adapta la herramienta HAZOP de inicio a fin, pasando por la etapa de análisis y diseño.

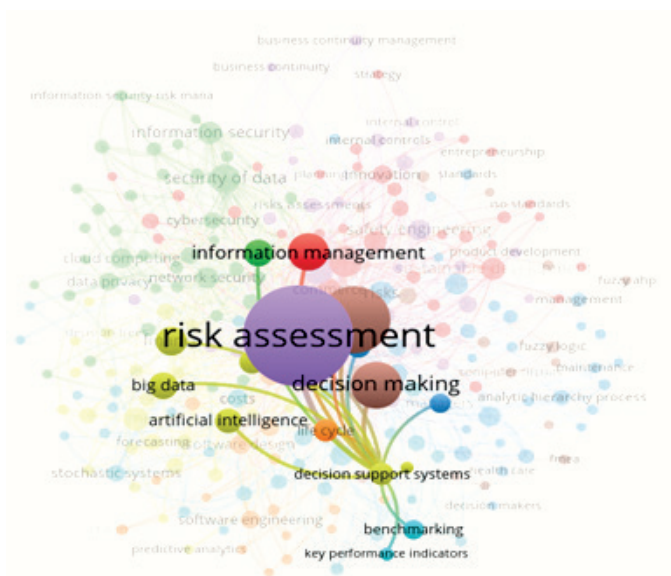
Por medio de lógica difusa y uso de tecnologías, (Surkova & Mazhaiskii, 2022) proponen un mejor manejo de los procesos de negocio, esto por medio del desarrollo de respuestas eficientes, generación de nuevas ideas e integración de procesos de negocio.

SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES

De acuerdo con la red bibliométrica, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones se encuentran estrechamente relacionados con tecnologías como el Big Data y la inteligencia artificial, además que entra en juego uno de los indicadores primordiales a la hora de manejar riesgos que es el índice clave de desempeño (KRI)

Figura 9

Clúster de Sistemas de apoyo a la toma de decisiones “Decision Support Systems”.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2025).

Según (Krewski et al., 2022), la toma de decisiones en cuanto a la gestión de riesgos debe ser basada en 10 principios que guiarán el correcto desarrollo de la evaluación y mejora de los procesos de negocio. Estos principios son: toma de decisiones basada en el riesgo, principio de precaución, balance entre costos y beneficios, rentabilidad, tolerancia del riesgo, riesgo cero, capital de riesgo, compromiso de las partes interesadas, apertura, transparencia y flexibilidad. Este artículo provee una guía que ayuda a enfrentar el complejo mundo de la gestión de riesgos empresariales.

De acuerdo con lo descrito por (Osuszek & Ledzianowski, 2020) los procesos de negocio y una respectiva toma de decisiones frente a ellos son pieza clave para la operación de cada institución. El tener acceso a información actualizada y analizada por medio de sistemas de apoyo a la toma de decisiones trae grandes beneficios empresariales.

La lógica de valor de una gestión de riesgos empresariales tiene como objetivo la consecución de una mejor toma de decisiones a nivel de empresa (Meidell & Kaarbøe, 2017) por lo que el uso de nuevas tecnologías se hace cada vez más necesario. Es por ello que (Lin et al., 2020) propone un enfoque de redes bayesianas que estimadas medidas de riesgos multivariadas en entornos empresariales dinámicos, esto por medio de la aproximación Cornie-Fisher (CF) y el modelo MCMC (Markov Chain Monte Carlo)

DESAFÍO DE LAS PYMES EN TÉRMINOS DE GESTIÓN DE RIESGOS

Los autores destacados en el análisis bibliométrico del capítulo dos coinciden en la necesidad de realizar trabajos científicos para afrontar los desafíos de las pymes en cuanto a la gestión integral de riesgo. Iniciar una trayectoria empresarial requiere de enfrentar ciertos riesgos base de tipo financieros, tecnológicos y organizacionales. Contar con poco capital y un impacto limitado debido a la novedad del producto o servicio ofrecido, hacen que las Pymes se enfoquen “en factores que contribuyan a su supervivencia, como lo es su presupuesto, y no en el análisis y entendimiento de los procesos de crecimiento y la consecución de una ventaja competitiva sostenible” (Crovini et al., 2021, pp.118 - 119) El ambiente empresarial es de carácter dinámico, por lo que los productos

y servicios están en constante cambio al igual que los riesgos que estos enfrentan (Ferreira de Araújo Lima et al., 2020), por esta razón una gestión de riesgos adecuada puede funcionar como un amortiguador estratégico que permita el continuo funcionamiento y mejoramiento de la Pyme, además de guiarla a obtener certificaciones internacionales en calidad como lo es ISO 9001, en la que se describe la pertinencia de las acciones para abordar riesgos en aras de conseguir la calidad esperada (ICONTEC, 2015) y, por tanto, posicionar su marca y su modelo de negocio. Para así enfrentar dos de sus principales factores competitivos, los clientes y la competencia (Dvorsky et al., 2021b)

La implementación exitosa de un modelo de ERM es determinada por factores como “un comité ejecutivo de riesgos, un director de riesgos corporativos (CRO), un departamento de auditoría interna, gestores capacitados en promover y comprometer a los empleados con el ERM, declaraciones de apetito de riesgo, indicadores de riesgo, y la integración del riesgo en la planificación estratégica y empresarial” (Mthiyane et al., 2022, p.2) todo ello se traduce en costos que las Pymes no pueden soportar. Además, cuando se trata de una Pyme organizada en un país en vía de desarrollo, la información disponible no es de vanguardia como sí lo es en el caso de los países desarrollados (Mthiyane et al., 2022). Estos factores, en cuanto a recursos monetarios, humanos e intelectuales, hacen que el camino para implementar un modelo ERM en una Pyme no sea viable, pero a largo plazo las ventajas y ganancias serán evidencia de la importancia de una gestión integral de riesgos en el crecimiento de una pequeña o mediana empresa, estas ventajas se traducen en un aumento de rendimiento financiero, mejoramiento en los productos y servicios para los consumidores y cierta mejora en los índices financieros tanto a nivel micro (A nivel de entidad) como a nivel macro (Indicadores Macroeconómicos del país) (Dvorsky et al., 2021)

HERRAMIENTAS PARA GESTIONAR RIESGOS

Al Realizar El Análisis Bibliográfico, Se Encontró Que Un Tópico En Común En Los Documentos hace referencias a las distintas herramientas que permiten la correcta gestión de riesgos en procesos de negocio. Entre ellas podemos destacar la matriz DOFA, las normas ISO 27001 y 31000, y el framework COSO.

Matriz DOFA: Para lograr un entendimiento de negocio, se tienen herramientas como el análisis DOFA que permite crear focos de oportunidades o amenazas basados en las fortalezas y debilidades organizacionales identificadas por medio de un análisis estratégico de los procesos, actividades y modelo de negocio. Este análisis potencia la oportunidad de dejar al desvelo factores de riesgo que bloquean la consecución de los objetivos estratégicos. El análisis DOFA es un gran punto de partida para las Pymes en su camino para conseguir estabilidad empresarial, económica y reputacional (Hunziker, 2021)

ISO 27001: Este estándar es una norma internacional que está enfocada en toda la línea de aseguramiento, confidencialidad e integridad de los datos y de la información que se manejan en los diferentes sistemas de información.

En cuanto a los procesos de negocios este estándar de 27001:2013 se encamina hacia los Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información el cual posibilita que todas las empresas o entidades puedan evaluar los riesgos presentados y así mismo tengan la posibilidad de presentar soluciones o rutas de mejora con el fin de mitigarlos o eliminarlos, por medio del su seguimiento, medición, análisis y evaluación, para así realizar una auditoría y asegurar el funcionamiento y cumplimiento de los objetivos estratégicos de las entidades (ISO, 2013)

COSO: Es una organización que está constituida por organismos privados, establecida en los EEUU, esta es una iniciativa voluntaria que se dedica a la mejora de los procesos organizacionales a través de un modelamiento de control interno efectivo, gestión del riesgo empresarial y la exclusión del fraude (Pierce & Goldstein, 2018) Al igual que ISO 31000, este marco no es de metódico cumplimiento, los ajustes individuales y la adaptación del marco a los objetivos empresariales son vitales y deben ir de la mano con la alta dirección y la cultura de riesgos de una organización (Kopia, 2019)

ISO 31000 - Directrices para la gestión de riesgo:

ISO 31000 es un marco de trabajo planteado por la Organización Internacional de Normalización (ISO), enfocado en pautar el análisis y gestión de riesgos su última versión es del año 2018. En ella se encuen-

tran principios y sugerencias comprobadas y clasificadas como óptimas para lograr un control de riesgos adecuado. Según (ICONTEC, 2018) “El propósito de la gestión del riesgo es la creación y la protección del valor. Mejora el desempeño, fomenta la innovación y contribuye al logro de objetivos” (p.2) Son 11 los principios que fundamentan esta creación de valor, los cuales se pueden resumir en integridad, estructuración, adaptación, inclusividad, heterogeneidad y la continua revisión de los riesgos encontrados.

Cada organización personaliza y aplica estos principios según su naturaleza, objetivos estratégicos y prioridades; tanto ISO 31000 como el modelo COSO no deben ser tomados como una lista de actividades de obligatoria aplicación y cumplimiento, la empresa es la encargada de analizar, decidir y aplicar los principios que considere pertinentes en su modelo de negocio y que madure y oriente sus planes respecto a ERM (Gatt et al., 2021).

TECNIFICACIÓN DE LOS PROCESOS RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE RIESGO

El avance tecnológico ha permitido una mejor supervisión y control de los procesos relacionados con la industria, es por esto que artículos recientes hacen referencia a temas como Machine Learning, Big Data, computación en la nube y Blockchain. Además, la sistematización de técnicas, como el modelado de procesos BPMN, la técnica Delphi, el análisis DOFA y causa-raíz, entre otras, han permitido el mejoramiento continuo de los procesos y por ende facilita y mejora la toma de decisiones. Son grandes los aportes de la informática al sector financiero y empresarial, desde el desarrollo web (Castro-Rivera et al., 2020) hasta la aplicación de temáticas relacionadas con Blockchain (Zheng et al., 2022), que han facilitado la gestión integral de los procesos y del riesgo.

Cada Pyme emplea un ciclo de vida para los procesos empresariales, objetivos y una naturaleza particular que hace que su organización y modelo de negocios varíen en torno al sector económico en el que se desenvuelven; por esta razón, la gerencia y el control realizado a las empresas no es estándar y por tanto, un factor importante como la identificación, análisis y gestión de riesgos cambia según las características empresari-

ales. De la mano con la tecnología, este proceso se vuelve más llevadero debido al mayor control y la predicción del posible rendimiento de la empresa, ya que facilita la toma de decisiones financieras en entornos de completa incertidumbre.

En cuanto a las herramientas informáticas se destaca software como Odoo (Open Source ERP and CRM | Odoo, n.d.), Oracle E-Business Suite (ERP Project Management | Oracle Colombia, n.d.), Microsoft Dynamics (Aplicaciones Empresariales | Microsoft Dynamics 365, n.d.) y SAP (SAP, 1972), que son relevantes en materia de sistemas ERP (Sistemas de planificación de recursos empresariales), que cuentan con módulos encargados de llevar una gestión general de riesgos organizacionales y software a la medida, enfocado en sectores económicos específicos como las tecnologías de la información, el sector financiero y otros.

En cuanto al sector TI es posible encontrar el desarrollo web cuyo fin, es la generación de planes para riesgos de software (Castro-Rivera et al., 2020), para uso de entidades emergentes catalogadas como micro y pequeñas empresas, con el fin de mejorar los productos de software mediante la adecuada administración de los riesgos presentes.

Las tecnologías emergentes no quedan al margen de estos procesos de tipo empresarial, herramientas basadas en la tecnología 4.0 como el Machine Learning, Blockchain, Big Data y la computación en la nube, se han visto involucradas en un proceso de análisis para verificar su impacto en la madurez de la transformación digital, la presión del mercado y la utilidad obtenida por las empresas (Rodríguez-Espíndola et al., 2022). En países como China, se ha iniciado a hacer uso del Blockchain para resolver múltiples riesgos empresariales por medio de la trazabilidad, la autenticidad compartida y el control divisible de los procesos (Zheng et al., 2022, p.11)

MACHINE LEARNING COMO HERRAMIENTA DE PROYECCIÓN EN LA GESTIÓN DE RIESGOS EMPRESARIALES

Tecnologías como el aprendizaje automático (Machine Learning) y el aprendizaje profundo (Deep Learning) han facilitado distintos procesos empresariales, debido al gran complemento que significan para la toma de decisiones por medio del análisis de datos y estadísticas. Es por ello, que, según lo expuesto anteriormente, en la descripción de los clústeres, fue de gran importancia el enfocar uno de ellos directamente a los sistemas que permiten la toma de decisiones. Existen diversos estudios en los que se comparan ambas metodologías, teniendo en cuenta el monitoreo de procesos de los negocios (Kratsch et al., 2021) en las que entran en juego la homogeneidad de las instancias y la ganancia de información que existe durante la ejecución de las técnicas.

Entrando específicamente en la temática relacionada con la gestión de riesgos, existe bibliografía relacionada tanto con Machine Learning como con Deep Learning, teniendo en cuenta la existencia de una significativa variedad de material enfocada en riesgos de la industria financiera y bancaria. En cuanto al aprendizaje automático, (Jomthanachai et al., 2021) proponen la integración de Machine Learning con el análisis envolvente de datos (con sus siglas en inglés, DEA) por medio del uso de una red neuronal artificial, dando como resultado una mayor eficacia en la aplicación del análisis FMEA (Análisis Modal de Fallos y Efectos) usando herramientas relacionadas con aprendizaje automático.

En cuanto a Deep Learning se hace uso de técnicas como las redes bayesianas impulsadas por la lógica difusa. El objetivo de la investigación es digitalizar completamente la expresión del riesgo, por medio de la formación de un índice basado en lógica difusa que evita la ambigüedad en el proceso de transferencia de una variable lingüística a una digital, este es agregado como índice de tamaño de nodo en una red bayesiana, con el fin de mejorar la visualización del riesgo, su debida gestión y comunicación para la toma de decisiones (Lu et al., 2022)

DISCUSIÓN

Los factores clave evidenciados a lo largo del desarrollo del presente trabajo hacen referencia a la pertinencia de la gestión de riesgos en los procesos de negocio de las Pymes, todo ello de la mano de tecnologías emergentes identificadas en el análisis bibliométrico como el Machine Learning, Deep Learning, Big Data y Data Mining. Dentro de este análisis, de la red generada, se identificaron cuatro clústeres importantes que complementan y agregan valor estratégico a los procedimientos de gestión integral de riesgos y toma de decisiones (Pierce & Goldstein, 2018) Estos clústeres son: gestión de la información, Big Data, Gestión de recursos empresariales y Sistemas de apoyo a la toma de decisiones.

El uso de herramientas predictivas trae grandes ventajas en el ciclo de vida empresarial, ya que la toma de decisiones se fundamenta en el análisis del histórico de riesgos, en los riesgos emergentes y en los posibles riesgos futuros. Además, se puede presentar una disminución significativa en términos de tiempo y costos, debido a que estas herramientas simplifican y generan posibles soluciones con planes de mejora para mitigar los riesgos por medio de algoritmos de aprendizaje supervisado y los modelos de datos diseñados.

Una gestión adecuada de riesgos trae ventajas significativas a las entidades en sus componentes económicos, sociales y reputacionales, ya que se permite realizar un seguimiento, análisis y evaluación de posibles amenazas o riesgos que atenten directamente al núcleo empresarial o a sus ramas generando así un mejor conocimiento del negocio, fortaleciendo su cultura empresarial y generando valor tanto a la marca como a los productos y servicios ofertados.

CONCLUSIONES

El uso adecuado de herramientas que permita la gestión de riesgos es de gran importancia en todo el ciclo de vida de los procesos desarrollados por las Pymes, ya que estos permiten cumplir significativamente con los objetivos estratégicos planteados por la empresa y minimizar el porcentaje de liquidez a causa de los riesgos no mitigados o de la completa omisión de estos.

La creación de un aplicativo basado en marcos normativos ISO y COSO será de gran ayuda en la guía de las Pymes en la gestión de sus procesos, con el fin de observar el panorama que estas organizaciones presentan, según sus enfoques, modelos de negocio, objetivos estratégicos y las metas definidas por las mismas.

De acuerdo con el análisis realizado en la red bibliométrica y demás hallazgos encontrados en las secciones de este trabajo, se identificó que el objetivo que tiene la gestión de riesgos es conseguir un mayor conocimiento sobre la competencia y el potencial que tiene la entidad, permitiendo un continuo ajuste de inconsistencias o el mayor uso de buenas prácticas y generando así una continua competencia basada en la estrategia, que desemboca en la apertura de más empresas, quizás generación de más empleos y el mantenimiento de las mismas, esto solo si se sigue con una adecuada gestión integral de riesgos en los procesos de negocio.

REFERENCIAS

- Aboutorab, H., Hussain, O. K., Saberi, M., Hussain, F. K., & Chang, E. (2021). A survey on the suitability of risk identification techniques in the current networked environment. *Journal of Network and Computer Applications*, 178, 102984. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.102984>
- Anquodi, Y., Al-Hamdani, A., Al-Badawi, M., & Hedjam, R. (2021). Using machine learning in business process re-engineering. *Big Data and Cognitive Computing*, 5(4), 61. <https://doi.org/10.3390/bdcc5040061>
- Aplicaciones empresariales | Microsoft Dynamics 365. (n.d.). Microsoft. Retrieved June 7, 2022, from <https://dynamics.microsoft.com/es-mx/>
- Broby, D. (2022). The use of predictive analytics in finance. *Journal of Finance and Data Science*, 8, 145–161. <https://doi.org/10.1016/j.jfds.2022.05.003>
- Canhoto, A. I., & Clear, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning as business tools: A framework for diagnosing value destruction potential. *Business Horizons*, 63(2), 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.11.003>

- Castro-Rivera, V. P., Herrera-Acuña, R. A., & Villalobos-Abarca, M. A. (2020). Development of a web software to generate management plans of software risks. *Información Tecnológica*, 31(3), 135–148. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300135>
- Crovini, C., Ossola, G., & Britzelmaier, B. (2021). How to reconsider risk management in SMEs? An advanced, reasoned and organized literature review. *European Management Journal*, 39(1), 118–134. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.11.002>
- Drydakakis, N. (2022). Artificial intelligence and reduced SMEs' business risks: A dynamic capabilities analysis during the COVID-19 pandemic. *Information Systems Frontiers*. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10249-6>
- Đurić, G., Todorović, G., Đorđević, A., & Borota Tišma, A. (2019). A new fuzzy risk management model for production supply chain economic and social sustainability. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 32(1), 1697–1715. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1638287>
- Dvorsky, J., Belas, J., Gavurova, B., & Brabenec, T. (2021). Business risk management in the context of small and medium-sized enterprises. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 34(1), 1690–1708. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1844588>
- Dyakonova, E. V., & Odínokov, S. A. (2021). Risk simulation based on variational Bayesian neural network in integrated management systems. In *2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (ITQMIS)* (pp. 20–22). <https://doi.org/10.1109/ITQMIS53292.2021.9642831>
- ERP project management | Oracle Colombia. (n.d.). Oracle. Retrieved June 7, 2022, from <https://www.oracle.com/co/erp/project-portfolio-management-cloud/>
- Ferreira de Araújo Lima, P., Crema, M., & Verbano, C. (2020). Risk management in SMEs: A systematic literature review and future directions. *European Management Journal*, 38(1), 78–94. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2019.06.005>
- Gatt, M., Grima, S., & Thalassinos, Y. (2021). An enterprise risk management (ERM) maturity index for European airports. In K. Nermend, M. Łatuszyńska, & E. Thalassinos (Eds.), *Decision-making in management* (pp. 337–378). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-67020-7>

- Hegde, J., & Rokseth, B. (2020). Applications of machine learning methods for engineering risk assessment: A review. *Safety Science*, 122, 104492. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.015>
- Hosam, O. (2022). Intelligent risk management using artificial intelligence. In *2022 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. <https://doi.org/10.1109/ASET53988.2022.9734861>
- Hunziker, S. (2021). *Enterprise risk management*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-33523-6>
- ICONTEC. (2013). *NTC ISO 27001: Tecnología de la información - Técnicas de seguridad - Sistemas de gestión de la seguridad de la información - Requisitos*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2015). *NTC ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2018). *NTC ISO 31000: Gestión del riesgo - Principios y directrices*. ICONTEC.
- Imran, M., & Waseem, M. (2017). A comprehensive people, process and technology (PPT) application model for information systems (IS) risk management in small/medium enterprises (SMEs). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(6), 78–90.
- Jomthanachai, S., Wong, W. P., & Lim, C. P. (2021). An application of data envelopment analysis and machine learning approach to risk management. *IEEE Access*, 9, 85978–85994. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3087623>
- Kratsch, W., Manderscheid, J., Röglinger, M., & Seyfried, J. (2021). Machine learning in business process monitoring: A comparison of deep learning and classical approaches used for outcome prediction. *Business & Information Systems Engineering*, 63(3), 261–276. <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00645-0>
- Kopia, J. (2019a). *Effective implementation of management systems* (1st ed.). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-26509-0>
- Kopia, J. (2019b). The connection of risk management and sustainable business process performance. In *Sustainable management* (pp. 65–94). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26509-0_3

- Kopia, J., Just, V., Geldmacher, W., & Bubian, A. (2017). Organization performance and enterprise risk management. *Ecoforum*, 6(1), 1–10.
- Krewski, D., Saunders-Hastings, P., Larkin, P., Westphal, M., Tyshenko, M. G., Leiss, W., Dusseault, M., Jerrett, M., & Coyle, D. (2022). Principles of risk decision-making. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews*, 25(5), 250–278. <https://doi.org/10.1080/10937404.2022.2107591>
- Lhannaoui, H., Kabbaj, M. I., & Bakkoury, Z. (2015). An approach for improving business process models using risk analysis techniques. In *2014 2nd World Conference on Complex Systems (WCCS)* (pp. 94–100). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICoCS.2014.7061003>
- Lin, E. M. H., Sun, E. W., & Yu, M. T. (2020). Behavioral data-driven analysis with Bayesian method for risk management of financial services. *International Journal of Production Economics*, 228, 107737. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107737>
- Lu, L., Goerlandt, F., Banda, O. A. V., & Kujala, P. (2022). Developing fuzzy logic strength of evidence index and application in Bayesian networks for system risk management. *Expert Systems with Applications*, 192, 116374. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116374>
- Meidell, A., & Kaarbøe, K. (2017). How the enterprise risk management function influences decision-making in the organization – A field study of a large, global oil and gas company. *British Accounting Review*, 49(1), 39–55. <https://doi.org/10.1016/j.bar.2016.10.005>
- Mthiyane, Z. Z. F., van der Poll, H. M., & Tshehla, M. F. (2022). A framework for risk management in small medium enterprises in developing countries. *Risks*, 10(9), 173. <https://doi.org/10.3390/risks10090173>
- Niesen, T., Houy, C., Fettke, P., & Loos, P. (2016). Towards an integrative big data analysis framework for data-driven risk management in industry 4.0. In *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016* (pp. 5065–5074). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.627>
- Open Source ERP and CRM | Odoo. (n.d.). Odoo. Retrieved June 7, 2022, from https://www.odoo.com/es_ES

- Osuszek, L., & Ledzianowski, J. (2020). Decision support and risk management in business context. *Journal of Decision Systems*, 29(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/12460125.2020.1780781>
- Perera, I. (2011). Impact of poor requirement engineering in software outsourcing: A study on software developers' experience. *International Journal of Computers, Communications & Control*, 6(2), 337–348. <https://doi.org/10.15837/ijccc.2011.2.2182>
- Petricioli, L., & Fertilj, K. (2022). Agile software development methods and hybridization possibilities beyond Scrumban. In *2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)* (pp. 1093–1098). IEEE. <https://doi.org/10.23919/MIPRO55190.2022.9803402>
- Pierce, E. M., & Goldstein, J. (2018). ERM and strategic planning: A change in paradigm. *International Journal of Disclosure and Governance*, 15(1), 51–59. <https://doi.org/10.1057/s41310-018-0033-3>
- Raman, S., Patwa, N., Niranjana, I., Ranjan, U., Moorthy, K., & Mehta, A. (2018). Impact of big data on supply chain management. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(6), 579–596. <https://doi.org/10.1080/13675567.2018.1459523>
- Ren, D., & Wu, H. (2022). Design and implementation of enterprise financial risk control information management system based on big data of Internet of Things. *Mobile Information Systems*, 2022, 5677870. <https://doi.org/10.1155/2022/5677870>
- Rodríguez-Espíndola, O., Chowdhury, S., Dey, P. K., Albores, P., & Emrouznejad, A. (2022). Analysis of the adoption of emergent technologies for risk management in the era of digital manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 178, 121562. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121562>
- Ruiz-Rosero, J., Ramirez-Gonzalez, G., & Viveros-Delgado, J. (2019). Software survey: SientoPy, a scientometric tool for topics trend analysis in scientific publications. *Scientometrics*, 121(2), 1165–1188. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03213-w>
- Senthil, J., & Muthukannan, M. (2022). Development of lean construction supply chain risk management based on enhanced neural network. *Materials Today: Proceedings*, 1752–1757. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.456>

- Singh, N. (2022). Developing business risk resilience through risk management infrastructure: The moderating role of big data analytics. *Information Systems Management*, 39(1), 34–52. <https://doi.org/10.1080/10580530.2020.1833386>
- Surkova, E. V., & Mazhaiskii, Y. A. (2022). Management of business processes. *Russian Engineering Research*, 42(3), 292–294. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22030248>
- Tereshchenko, E., Sosnovska, O., Ushenko, N., Andryeyeva, V., & Kovalova, M. (2021). Risk assessment information system of enterprise business processes. *Proceedings of the International Conference on Business Management*.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), *Measuring scholarly impact* (pp. 285–320). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13
- Yakob, S., Bam, H.-S., Yakob, R., & Aufa Muhammad Raziff, N. (2019). The effect of enterprise risk management practice on SME performance. *South East Asian Journal of Management*, 13(2), 151–169.
- Zheng, S., Hu, Y., Chong, A. Y. L., & Tan, C.-W. (2022). Leveraging blockchain technology to control contextualized business risks: Evidence from China. *Information & Management*, 59(7), 103628. <https://doi.org/10.1016/j.im.2022.103628>

Innovación tecnológica y energía limpia: estrategias para enfrentar el cambio climático en Colombia

Oscar Mauricio Sanabria Mendoza¹

RESUMEN

Este artículo analiza la relación entre la transformación digital y las energías renovables en Colombia, y cómo su integración puede contribuir a mitigar el cambio climático. A través de varias etapas, se describen los avances históricos en ambos sectores, la legislación clave que ha impulsado su desarrollo y las barreras que persisten para una adopción efectiva. El artículo examina cómo las tecnologías digitales, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el blockchain, están optimizando la generación y distribución de energía renovable en el país, mejorando la eficiencia y la gestión en tiempo real de los recursos energéticos. Los resultados se dividen en secciones que abarcan la historia de la transformación digital y las energías renovables en Colombia, la evolución de las leyes y normativas, la implementación tecnológica en sectores económicos clave, y los desafíos que enfrenta el país, como la infraestructura insuficiente y la falta de financiamiento. Se destaca la sinergia entre ambos sectores y su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover un desarrollo sostenible en Colombia. Finalmente se subraya el proceso de transformación digital como herramienta clave para la mitigación del cambio climático.

Palabras Clave: Cambio climático, Energías renovables, Internet de las cosas (IoT), Legislación energética, Mitigación de emisiones, Transformación digital.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, décimo semestre, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. oscar.sanabriam@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con el MSc. Sergio Arley Puerto Moreno.

ABSTRACT

This article analyzes the relationship between digital transformation and renewable energy in Colombia, and how their integration can contribute to mitigating climate change. Through several stages, it describes the historical advancements in both sectors, the key legislation that has driven their development, and the barriers that persist for effective adoption. The article examines how digital technologies, such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and blockchain, are optimizing the generation and distribution of renewable energy in the country, improving efficiency and real-time management of energy resources. The results are divided into sections covering the history of digital transformation and renewable energy in Colombia, the evolution of laws and regulations, technological implementation in key economic sectors, and the challenges the country faces, such as insufficient infrastructure and lack of funding. The synergy between both sectors is highlighted, along with their potential to reduce greenhouse gas emissions and promote sustainable development in Colombia. Finally, the digital transformation process is emphasized as a key tool for climate change mitigation.

Keywords: Climate change, Digital transformation, Emissions mitigation, Energy legislation, Internet of things (IoT), Renewable energies.

INTRODUCCIÓN

El uso de energía ha sido fundamental desde los albores de la civilización. A medida que el ser humano avanza en la tecnificación y evolución de su entorno tecnológico, el consumo energético experimenta un aumento significativo. Este recorrido se inicia con el aprovechamiento del fuego, seguido por los molinos de viento, el carbón vegetal, las máquinas de vapor, los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías renovables. Actualmente, se busca explorar alternativas energéticas como la fusión nuclear, optimizar y mejorar las fuentes de energía renovable, y sistematizar las plantas generadoras de energía. Según (smil, 2021). Todo ello tiene como objetivo satisfacer la creciente demanda energética y reducir al mínimo el impacto del cambio climático en nuestro planeta.

Los sistemas informáticos han posibilitado la optimización del uso de energía, la reducción de costos y el mejoramiento de la eficiencia en las organizaciones. La digitalización de las empresas ha permitido un monitoreo más eficaz de la calidad de sus productos, abriendo un nuevo panorama laboral en el cual la era digital adquiere cada vez más relevancia.

La energía y la tecnología han desempeñado roles fundamentales desde los albores de la civilización. Con la llegada de la revolución industrial. Según (Salazar, 2024): (La primera revolución industrial iniciada en Gran Bretaña en el siglo XVIII se caracterizó principalmente por el uso de la energía del vapor en motores y máquinas, lo cual permitió mecanizar procesos en industrias clave de la época y, a partir de su aplicación en trenes y barcos, facilitó el movimiento de personas, materiales y bienes). (p. 3) la innovación tecnológica y la implementación de nuevos inventos fueron clave para aprovechar las diversas fuentes de energía disponibles. No obstante, esta revolución también conllevó un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales han incrementado año tras año, generando un aumento significativo en la temperatura global, cercano a 1 grado Celsius, y provocando cambios drásticos en el clima. Según (IPCC, 2023).

Desde el año 2000, se ha observado un creciente interés en las energías renovables. Esto se debe al marcado aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, resultado de la explotación y quema de combustibles fósiles. Este fenómeno ha tenido un impacto negativo en el clima, la calidad del aire, la pérdida de ecosistemas y la escasez de agua, entre otras consecuencias.

La evolución de nuestra especie hacia una sociedad tecnológica nos ha llevado a lograr metas que hace unos años parecían inalcanzables. Este avance nos insta a desarrollar nuevas áreas de conocimiento que impulsen mejoras y progresos en nuestro entorno social. El crecimiento tecnológico ha incrementado nuestra demanda de energía, lo que nos obliga a explorar alternativas y optimizar los sistemas existentes para reducir el impacto ambiental. Según (Nishitha Perera, 2024).

El progreso humano se fundamenta en la búsqueda y creación de nuevas fuentes de energía que puedan satisfacer todas sus necesidades. En

este sentido, el desarrollo tecnológico ha cobrado especial relevancia al transformar la manera en que adquirimos y aplicamos conocimientos técnicos. La accesibilidad a diversas fuentes de información actualizada ha dinamizado los hábitos y prácticas humanas, facilitando la adaptación a un entorno en constante cambio.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el artículo se basa en un enfoque descriptivo y analítico, centrado en la revisión de información existente. Para llevar a cabo esta investigación, se recopilaron datos de diferentes fuentes, como leyes, políticas públicas y reportes históricos sobre la transformación digital y las energías renovables en Colombia y como ambas pueden ayudar a combatir el cambio climático. Para ello, se establecieron una serie de fases que abarcan desde la revisión de la legislación referente en ambas áreas, hasta el análisis de los retos que debe enfrentar Colombia para integrar ambas áreas de manera eficiente.

La recopilación de información incluyó una búsqueda exhaustiva que utilizó técnicas de búsqueda booleana, consultando más de 50 fuentes, principalmente publicadas entre 2019 y 2024, aunque también se incluyeron algunas anteriores por su relevancia en el contexto de estudio. Esta metodología permitió identificar las ventajas y desventajas en la integración de la transformación digital con el desarrollo de energías renovables en el país, proporcionando una base sólida para evaluar las políticas y estrategias necesarias para enfrentar los retos climáticos actuales.

RESULTADOS

Historia y leyes sobre transformación digital en Colombia: la llegada de la informática a Colombia marcó un cambio significativo en la industria y la educación del país. Este hito comenzó el 3 de marzo de 1957, cuando la empresa Bavaria adquirió la primera computadora, una IBM 650. Otras empresas, como Coltejer, se sumaron ese mismo año, y en 1958, Empresas Públicas de Medellín y Ecopetrol también adquirieron sus propias computadoras. Según (Semana, 2017).

En 1963, las universidades Nacional y de los Andes recibieron donaciones de los primeros modelos de computadoras, convirtiéndose en pioneras en la creación de grupos de trabajo sobre sistemas informáticos. En la Universidad de los Andes, la Facultad de Ingeniería, específicamente el programa de Ingeniería Civil fue el primero en utilizar una computadora para un curso sobre diseño de carreteras. Otros programas académicos utilizaron estas computadoras para realizar cálculos, desarrollar videojuegos, estadística de datos, entre otros usos. Según (Semana, 2017).

A finales de la década de 1960, la Universidad Nacional recibió su primer computador, que fue implementado en la Facultad de Minas por el decano Peter Santamaría Álvarez. Posteriormente, otras carreras se consolidaron en la Facultad de Ingeniería, creando materias específicas para utilizar esta tecnología. En 1978, se creó el Departamento de Ingeniería de Sistemas. Según (Semana, 2017).

En 1968, se creó el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (Colciencias), durante la presidencia de Carlos Lleras Restrepo, para regular la ciencia y la tecnología en Colombia. Según el decreto 2869 (Congreso de la Republica de Colombia, 1968, 20 Noviembre). Veinte años después, el Congreso de la República impulsó la ciencia y la tecnología creando el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SNCyT) mediante el decreto 585 (Congreso de la Republica de Colombia, 1991, 26 febrero). Con la nueva Constitución de 1991. Según (Aristizábal, 2004), se fortaleció el reconocimiento de la importancia de la tecnología en la sociedad, estableciendo artículos como el Artículo 15 (Congreso de la Republica de Colombia, 1991, 4 julio) (Protección de la privacidad y los datos personales), Artículo 20 (Congreso de la republica de Colombia, 1991, 4 julio) (Derecho de acceso a la información), Artículo 61 (Congreso de la republica de Colombia, 1991, 4 Julio) (Protección de la propiedad intelectual) y Artículo 80 (Congreso de la republica de Colombia, 1991, 4 Julio) (Estrategias de desarrollo sostenible).

La adopción de la nueva constitución facilitó la llegada de nuevas tecnologías que fortalecieron la economía y diversos sectores económicos del país. Se promovió la expansión de las redes de telecomunicaciones, la telefonía fija y móvil, y la conexión de banda ancha, registrando la

primera conexión a internet en 1994 con la conformación de la Red Nacional de Ciencia, Educación y Tecnología. Según (Mary Luz Ortiz, 2019). Estas nuevas tecnologías permitieron el desarrollo industrial, el crecimiento económico, la mejora de la educación y el acceso a la información para los ciudadanos.

Sin embargo, Colombia ha atravesado varias crisis financieras significativas, destacando la de los años 80 y la de finales del siglo XX. Ambas surgieron por profundos desequilibrios macroeconómicos, incluyendo déficits fiscales y devaluaciones del peso, exacerbados por el exceso de crédito externo e interno. La falta de supervisión financiera, reflejada en prácticas como los autopréstamos y la captación de ahorros en entidades insolventes, agravó la situación. Esto llevó a intervenciones estatales, como la creación de Fogafín, que permitió gestionar la quiebra de bancos y proteger los ahorros del público. Según (Caballero Argáez, 2019).

Estas crisis financieras que han frenado el crecimiento tecnológico debido a la falta de inversión público-privada, inestabilidad económica y alta inflación. La crisis del Agro en 1992 ocasionó una caída de la producción nacional del 2,3%. En 1998, la crisis de La Casa en el Aire afectó al sector financiero, llevando a la quiebra a varios bancos y obligando al gobierno a implementar medidas como el impuesto del 2x1000 para salvar a la banca, sumado a una caída del PIB del 4,5% en 1999. Otros problemas como las pirámides en 2006 y la crisis de la Bolsa de Valores de Colombia en 2012, junto con la violencia de grupos al margen de la ley y la inflación, han sido obstáculos adicionales para el crecimiento económico y tecnológico del país. Según (Romero, 2019).

Historia y leyes sobre energías renovables en Colombia: La energía eléctrica marcó un cambio significativo en Colombia. Los primeros sistemas de generación de energía eléctrica se remontan al año 1890, cuando se iluminaron las calles del centro de Bogotá. Esta tecnología se extendió rápidamente a otras ciudades del país. Inicialmente, se utilizó para el alumbrado público, pero pronto se amplió su uso a hogares, talleres, fábricas, empresas y tranvías. Según (Arango, 2020). Los primeros generadores funcionaban con carbón vegetal y mineral, pero la disponibilidad de numerosos ríos permitió la creación de pequeñas hidroeléctricas.

La central hidroeléctrica El Charquito, construida en 1896, fue la primera en Colombia y tenía una capacidad de 300 kW. Esta central abastecía de energía eléctrica a Bogotá. A partir de entonces, se desarrollaron diversos proyectos para satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica. Según (Institucional, 2022). En 1928, donde se reguló el sector eléctrico según la ley 113 (Congreso de la republica de Colombia, 1928, 15 Noviembre).

Las energías renovables se definen como: Según (Font, 2020) “comprende aquellas energías cuya renovación es mayor a la cadencia de uso”(p. 1). Aprovechando los recursos rentables y otras fuentes de energía, se promulgó el Decreto 968 (Congreso de la Republica de Colombia, 1940, 18 Mayo), creando el Ministerio de Minas y Petróleo. El gobierno nacional reconoció la necesidad de organizar el sector energético del país y promover el uso responsable de los recursos naturales renovables y no renovables para el abastecimiento de energía. En 1974, el ministerio fue renombrado como Ministerio de Minas y Energía.

En 1971, Colombia alcanzó una plena interconexión eléctrica en el interior del país, mejorando la eficiencia del sistema y permitiendo una mejor distribución de la energía. Según (Hidalgo, 2018). Diez años después se estableció normas para la construcción de instalaciones de generación de electricidad, acueductos y sistemas de regadíos según la ley 56 (Congreso de la republica de Colombia, 1981,1 Septiembre). Posteriormente, se creó la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

Con la expansión de servicios a las ciudades, se hizo necesario regular su uso. La Ley 142 (Congreso de la republica de Colombia, 1994, 11 Julio) se implementó para garantizar la calidad de los servicios públicos, estableciendo normativas para su intervención cuando fuera necesario.

Con la llegada del nuevo siglo y las primeras señales significativas del cambio climático, se promovió el uso racional y eficiente de la energía eléctrica. Se impulsaron proyectos de eficiencia energética y energías renovables. En 2014, se aprobó la Ley 1715 (Congreso de la republica de Colombia, 2014, 13 Mayo), que integró las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, incentivando la inversión en energías limpias en el territorio. Según (FENOGE, s.f.).

Según el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026 del gobierno actual, se establece como objetivo principal la transición energética del país y la transformación digital. Este plan busca empoderar a las comunidades para que puedan comercializar y/o utilizar energía proveniente de fuentes no convencionales, recursos energéticos distribuidos (DER) y combustibles renovables. Además, promueve la sustitución de la leña en los hogares, con el fin de reducir la brecha energética y mejorar las condiciones de vida. Asimismo, se fomenta la diversificación e impulso de la producción de energía a partir de hidrógeno, energía mareomotriz, biomasa, energía eólica y energía solar. Según (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

El gobierno actual impulsa una transición energética justa con el objetivo de transformar el sistema energético actual, basado principalmente en combustibles fósiles, hacia fuentes más limpias y renovables. Este proceso considera factores sociales, económicos y ambientales, buscando garantizar beneficios equitativos para todas las comunidades, especialmente aquellas dependientes de los combustibles fósiles. Además, fomenta la creación de empleos verdes para apoyar la reconversión laboral en estas regiones. Según (Ministerio de minas y energía, 2024).

Asimismo, se establecen metas energéticas a corto, mediano y largo plazo que promueven tecnologías renovables diversas. Estas incluyen inversiones en redes eléctricas inteligentes, almacenamiento energético y una distribución eficiente de la energía. Para maximizar la integración y eficiencia del sistema eléctrico, se impulsa la digitalización de redes mediante tecnologías como IoT, inteligencia artificial y Big data, que optimizan la gestión y permiten una mayor inclusión de diferentes fuentes energéticas. Según (Ministerio de minas y energía, 2024).

El gobierno también evalúa la electrificación de sectores como el transporte, la industria y la calefacción de edificios, utilizando fuentes renovables para mejorar la eficiencia energética y en adoptar tecnologías limpias reduciendo significativamente la huella de carbono de la industria. Según (Ministerio de minas y energía, 2024).

Sin embargo, Colombia sigue siendo muy dependiente de la energía hidroeléctrica, que constituye el 81.6% del sistema energético, seguido por combustibles fósiles con un 16.8%, y el resto corresponde a energías no

convencionales. A pesar del enfoque en energías renovables hídricas, no es suficiente para afrontar los problemas causados por el cambio climático. A inicios de 2024, el país sufrió severamente debido al fenómeno de El Niño, lo que hizo necesario implementar racionamientos de energía y agua. Según (M., 2023).

Definición de transformación digital y energías renovables: Las nuevas tecnologías se han convertido en un recurso esencial que facilita nuestras tareas diarias. Permiten la investigación en tiempo real, el almacenamiento de información en diversos formatos como imágenes, videos, audio, bases de datos y documentos, así como la automatización de tareas, el comercio electrónico, el monitoreo de datos, la navegación, el streaming y la comunicación electrónica. Estas capacidades mejoran significativamente nuestro estilo de vida y nos ayudan a adaptarnos a un mundo globalizado.

La transformación digital se define como: Según (Amazon Web Services, s.f.) “el proceso mediante el cual una organización integra tecnología digital en todas sus áreas empresariales. Las empresas adoptan tecnologías digitales innovadoras para realizar cambios culturales y operativos que se adapten mejor a las necesidades cambiantes de los clientes”.

La tecnología surgió de la necesidad de solucionar problemáticas que impactan el desarrollo de la sociedad, dando origen a innovaciones que han transformado la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. Estas innovaciones impulsan el progreso y la evolución continua de nuestras comunidades. Sin embargo, la tecnología también trae consigo peligros que deben manejarse con cuidado para evitar accidentes. Estos peligros incluyen la adicción a dispositivos tecnológicos, el aislamiento social debido al uso excesivo, preocupaciones sobre privacidad y seguridad en línea, desigualdades en el acceso digital, impactos ambientales negativos, desempleo relacionado con la tecnología y la difusión de desinformación. Según (Universidades, 2021). Es crucial abordar estos peligros con un enfoque equilibrado y ético, promoviendo un uso responsable de la tecnología, fortaleciendo la seguridad en línea y fomentando la educación digital y la conciencia crítica.

Para utilizar la tecnología de manera adecuada, es importante establecer límites de tiempo para evitar el uso excesivo, practicar la moderación y

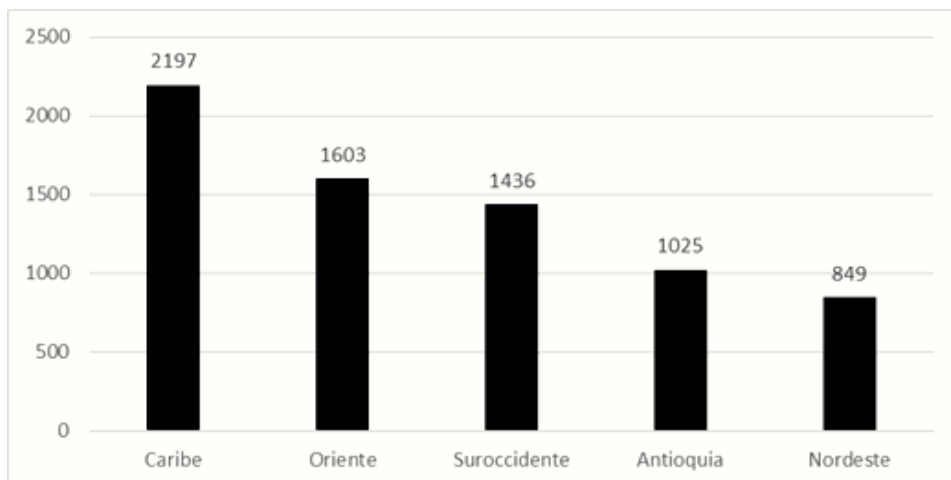
mantener un equilibrio saludable entre la tecnología y otras actividades. Además, es crucial proteger la privacidad en línea, desarrollar habilidades digitales, ser consciente del contenido consumido, priorizar la comunicación cara a cara y promover un uso seguro y responsable entre la comunidad. Según (Domingo Borba, 2020). Siguiendo estos principios, se puede maximizar el beneficio de la tecnología mientras se minimizan sus impactos negativos.

Las diversas tecnologías utilizadas para la generación de energía eléctrica tienen impactos variables en las emisiones de gases de efecto invernadero. Los sistemas de generación tradicionales, como, son los principales emisores, como son el Carbón produciendo aproximadamente 820 kg de CO₂ por MWh. Según (Power, 2022). En contraste, las energías renovables son una opción crucial para reducir estas emisiones, ya que generan significativamente menos CO₂ por megavatio. Además, las energías renovables permiten aprovechar diversos entornos naturales para producir energía limpia y sostenible, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático.

Economía, cambio climático, tecnología y energías renovables en Colombia: Colombia es un país líder en América del Sur en la producción de energía eléctrica, con una capacidad máxima anual de 90 TWh, situándose como el cuarto país con mayor capacidad de generación eléctrica en la región. Sus principales fuentes de generación energética son la energía hidráulica, que representa el 83,66%, seguida de la energía térmica con el 14,06%, la energía eólica con el 0,6% y la energía solar con el 0,1% durante el 2022. Según (Ayde Catalina Figueroa Castro, 2023). La producción de energía eléctrica ha sido crucial para la economía colombiana, representando el 4% del PIB nacional. Además, la electricidad es el motor de la economía de cualquier país, siendo fundamental para potenciar el crecimiento económico. Según (Republica, 2020).

Figura 1

Generación de energía por región en Gw por mes.



Nota: La figura muestra cifras de la generación de energía por región en Gw por mes. Fuente: (UPME, Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024).

La expansión energética y la instalación de nuevas plantas han permitido aumentar la cobertura de la red eléctrica en Colombia, alcanzando el 98.6% en 2022. Según (Arce, 2023). Actualmente, el sector recibió una inversión de entre 25,3 y 29.8 billones de pesos por parte de Ecopetrol, lo que permite atender la creciente demanda energética del país y permitir una transición energética. Según (Ecopetrol, 2022). Además, Colombia busca aumentar su capacidad energética en un 25% con energías no convencionales para 2050, según el plan energético de la UPME.

La visión del sector energético colombiano para los próximos 30 años se centra en consolidar la transición energética como un pilar del desarrollo sostenible. Esta estrategia, reflejada en el Plan Energético Nacional (PEN) 2022-2052, está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen promover la energía asequible y limpia, fortalecer la innovación y la infraestructura, y mejorar la eficiencia energética para crear ciudades más sostenibles. También busca fomentar un consumo responsable y contribuir a la acción climática mediante el uso de energías limpias y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La transformación del sector energético está diseñada para enfrentar los

desafíos ambientales y económicos, mientras mejora la calidad de vida en el país. Según (UPME, Actualización plan energético nacional (PEN) 2022-2050, 2023).

Desde la década de 1970, se comenzaron las primeras mediciones para evaluar la influencia de la actividad humana sobre la atmósfera y sus consecuencias. Desde entonces, se ha registrado un aumento continuo de la temperatura promedio global y un incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero, causadas directamente por el hombre y la industrialización. Según (Nasa, s.f.). La comunidad científica reconoció oficialmente estas señales del cambio climático, lo que llevó a la creación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en 1988.

En Colombia, los efectos del cambio climático son evidentes. El país enfrenta heladas en los cultivos, inundaciones, deslizamientos de tierra, daños en la infraestructura vial debido a crecientes repentinas, sequías extremas e incendios forestales. Estos problemas sociales y económicos agravan el desequilibrio ambiental. El Departamento Nacional de Planeación prevé pérdidas anuales del 0,49% del Producto Interno Bruto (PIB) entre 2011 y 2050 debido a esta problemática ambiental. Según (DNP-BID, 2015).

La importancia de la energía eléctrica y las posibles consecuencias del desabastecimiento energético se han vuelto evidentes. A principios de 2024, Colombia, mayoritariamente dependiente de la energía hidroeléctrica, enfrentó el fenómeno de El Niño y las fuertes sequías que se presentaron durante ese periodo, lo que redujo el volumen útil del sistema hidroeléctrico al 28.56%, acercándose peligrosamente al nivel crítico del 27%. Según (Reynoso, 2024), momento en que sería necesario un racionamiento eléctrico. Como consecuencia, el alcalde de Bogotá, Carlos Fernando Galán, anunció el 11 de abril la implementación de un racionamiento de agua en la ciudad para mitigar el desabastecimiento. Además, se tomaron otras medidas, como cancelar la venta de energía al vecino Ecuador, para evitar el racionamiento energético y prevenir un apagón general. Según (Abril, 2024).

Para ratificar el compromiso de Colombia con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se promulgó la Ley 164 (Congreso de la República de Colombia, 1994, 27 octubre), y con

el Protocolo de Kioto mediante la Ley 629 (Congreso de la Republica de Colombia, 2000, 27 Diciembre) donde “el Plan Energético Nacional (PEN) considera la componente ambiental como una estrategia transversal a todos sus objetivos: La conservación y el mejoramiento de la calidad ambiental en todas las instancias decisorias, procesos productivos e inversiones futuras del sector energético, son objetivos básicos de la estrategia energética nacional”. Según (UPME, unfccc).

El Decreto 298 (Congreso de la republica de Colombia, 2016, 24 Febrero), establece la estructura y operación del Sistema Nacional de Cambio Climático y busca cumplir con los compromisos de Colombia en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Este decreto adopta estrategias institucionales para formular, aplicar, publicar y actualizar programas nacionales y regionales, según corresponda, que contengan las medidas necesarias para mitigar y controlar los gases de efecto invernadero y su impacto en el medio ambiente.

En 2016 establece el impuesto nacional al carbono mediante la Ley 1819 (Congreso de la republica de Colombia, 2019, 29 Diciembre). En el 2017 se reglamenta este impuesto y el mecanismo de no causación de este mediante el Decreto 926 (Congreso de la republica de Colombia, 2017, 1 Junio), imponiendo un gravamen sobre la venta, importación y autoconsumo de combustibles fósiles. Además, se regulo el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional, con el objetivo de contabilizar y determinar las emisiones, verificando el avance y cumplimiento de las metas nacionales establecidas para reducir la huella de carbono, según la Resolución 1447 (Congreso de la republica de Colombia, 2018, 1 Agosto).

Las diversas tecnologías utilizadas para la generación de energía eléctrica tienen impactos variables en las emisiones de gases de efecto invernadero. Los sistemas de generación tradicionales, como el carbón, son los principales emisores, como el carbón que producen aproximadamente 820 kg de CO₂ por MWh. En contraste, las energías renovables son una opción crucial para reducir estas emisiones, ya que generan significativamente menos CO₂ por megavatio. Además, las energías renovables permiten aprovechar diversos entornos naturales para producir energía limpia y sostenible, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático.

Por ejemplo, la energía eólica y la solar emiten aproximadamente 11.5 kg y 48 kg de CO₂ por MWh, respectivamente, lo que contrasta notablemente con las elevadas emisiones de los combustibles fósiles. La energía hidroeléctrica produce menos de 24 kg de CO₂ por MWh, mientras que la nuclear genera alrededor de 12 kg de CO₂ por MWh. Según (Power, 2022). Estas tecnologías no solo contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero, sino que también ofrecen la ventaja de ser sostenibles a largo plazo.

En Colombia, el factor de emisión de CO₂ por generación eléctrica del Sistema Interconectado es de 164,38 kilogramos de CO₂ por megavatio hora, según estimaciones de XM, el operador del sistema nacional. Según (XM, 2020).

El gobierno nacional promueve la transformación digital y el uso de tecnologías emergentes para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. En 2019 se obligó a las entidades nacionales a incorporar componentes de transformación digital en sus planes de acción, siguiendo los estándares establecidos por el MinTIC, a través de la Ley 2106 (Congreso de la Republica de Colombia, 2019, 22 Noviembre). Por su parte, la Ley 2052 (Congreso de la Republica de Colombia, 2020, 25 Agosto) impulsa la racionalización y digitalización de trámites, facilitando el acceso a servicios ciudadanos digitales.

En 2022 refuerzo el avance en la transformación digital de las entidades públicas, abordando aspectos como la interoperabilidad, la infraestructura de datos y los sandbox regulatorios para fomentar la innovación en el sector público mediante el Decreto 767 (Congreso de la Republica de Colombia, 2022, 16 Mayo). Complementariamente, se establece lineamientos y estándares para la digitalización de trámites, el uso de servicios en la nube y la inteligencia artificial, apoyando la Política de Gobierno Digital y buscando crear un Estado más eficiente y proactivo en el uso de las TIC, mediante el Decreto 1263 (Congreso de la Republica de Colombia, 2022, 22 Julio).

Ante la necesidad de transformar la generación de energía eléctrica y contribuir a la reducción de la huella de carbono, se promulgó la Ley 1715 (Congreso de la republica de Colombia, 2014, 13 Mayo), conocida como la Ley de Energías Renovables No Convencionales y Eficiencia

Energética. Esta norma establece incentivos y beneficios tributarios para estimular y promover el desarrollo de energías renovables en el país.

Posteriormente, la Ley 2036 (Congreso de la Republica de Colombia, 2020, 27 Julio) autorizó la financiación de proyectos de generación, distribución y comercialización de energía con fuentes renovables a pequeña escala, con un enfoque especial en el sector rural y en la creación de empleo local asociado a estos proyectos.

Finalmente, la Ley 2099 (Congreso de la Republica de Colombia, 2021, 10 Julio) amplió los incentivos tributarios para fomentar la inversión en energías renovables, como la deducción del 50% de la inversión en el impuesto de renta y la exclusión del IVA. Además, introdujo nuevas medidas para impulsar la transición energética en el país.

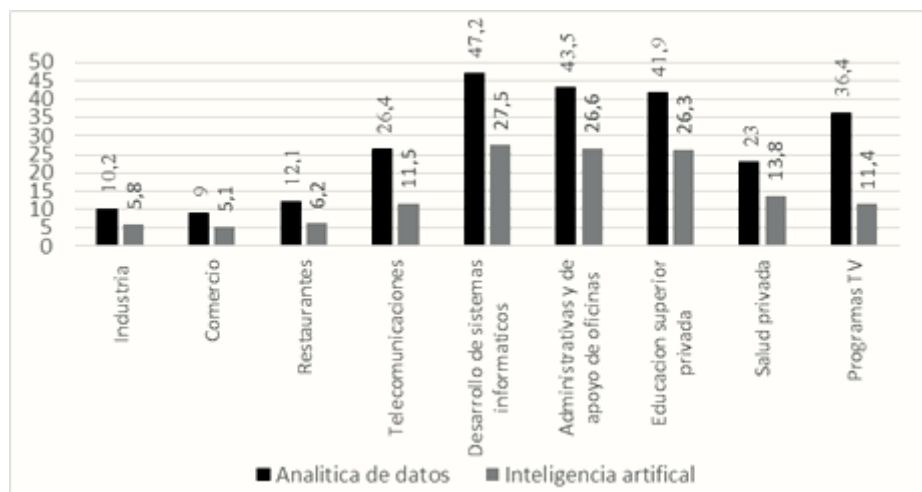
De lo anterior, se observa un pequeño avance en la política interna y en el impulso hacia la transición energética, apoyándose en las nuevas tecnologías disponibles en el mercado global para enfrentar la inminente crisis climática. En este contexto, el país ha tenido que adoptar, en ocasiones, medidas urgentes para hacer frente a la escasez de agua y de energía eléctrica, recursos esenciales para el funcionamiento de la economía nacional.

Cambios tecnológicos en los sectores económicos: la adopción de nuevas tecnologías en la industria ha ganado popularidad en los últimos años, y hoy en día se pueden encontrar herramientas tecnológicas tanto en microempresas como en grandes corporaciones. Sin embargo, su implementación aún no ha alcanzado una escala lo suficientemente amplia para estar presente en todos los sectores económicos de manera significativa. Esta limitada difusión se debe a diversos factores que obstaculizan su adopción uniforme.

Para integrar las energías renovables no convencionales e impulsar la transformación digital en entidades públicas y privadas, es crucial realizar cambios sustanciales en las políticas públicas, la infraestructura tecnológica y la educación permitiendo así superar las barreras actuales y maximizar el potencial de estas innovaciones para mitigar el cambio climático en Colombia.

Figura 2

Porcentaje de empresas que implementaron procesos de analítica de datos e Inteligencia Artificial, según actividades económicas.



Nota. Porcentaje de empresas que implementaron procesos de analítica de datos e Inteligencia Artificial, según actividades económicas. Fuente: (DANE, encuesta de tecnologías de la información y las comunicaciones en empresas (ENTIC empresas) 2019, 2021).

Primero, es fundamental que el gobierno colombiano desarrolle y promueva políticas públicas que incentiven la inversión en energías renovables y la adopción de tecnologías digitales en todos los sectores económicos. Esto incluye la creación de marcos regulatorios que faciliten la integración de estas tecnologías, la oferta de subsidios o incentivos fiscales para empresas que inviertan en transformación digital y energías limpias, así como la promoción de alianzas público-privadas para mejorar el acceso a recursos y conocimientos.

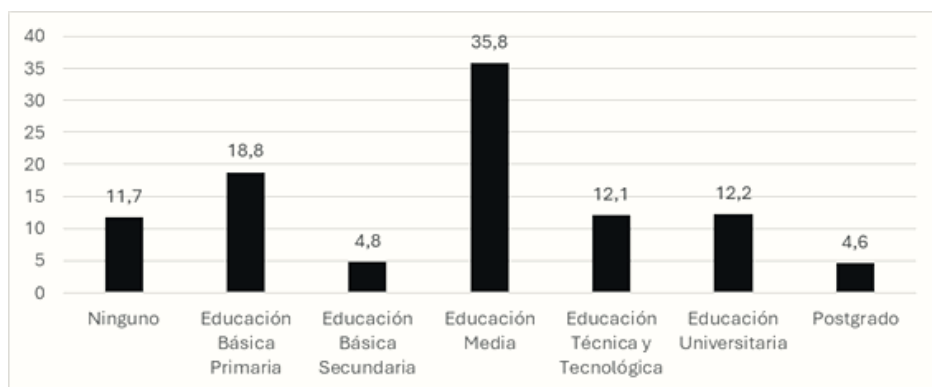
Segundo, la mejora de la infraestructura tecnológica a nivel nacional es clave para que tanto grandes como pequeñas empresas puedan aprovechar al máximo las oportunidades que brindan las tecnologías digitales y las energías renovables. La expansión de redes de conectividad, la modernización de sistemas energéticos y el acceso a plataformas digitales son esenciales para apoyar una transición hacia un modelo económico más sostenible y competitivo.

Además, es imprescindible invertir en la capacitación del capital humano. Sin profesionales cualificados que comprendan y manejen estas nuevas tecnologías, la transformación digital y la transición hacia energías renovables se verán limitadas. Programas educativos enfocados en competencias tecnológicas y ambientales, junto con la formación continua de los trabajadores en activo, permitirán desarrollar una fuerza laboral capaz de liderar y mantener estos cambios.

Actualmente, en Colombia, 35 de cada 100 personas tienen educación media, 18 poseen educación básica primaria, y solo 16 cuentan con estudios universitarios o de posgrado, lo que refleja la brecha educativa en el mercado laboral y la necesidad de ampliar el acceso a la educación superior para afrontar estos desafíos. Según (DANE, Fuerza laboral y educación 2022, 2023).

Figura 3

Nivel educativo en Colombia para el mercado laboral- DANE, Fuerza laboral y educación 2022, 2023.



Nota. Nivel educativo en Colombia para el mercado laboral. Fuente: (DANE, Fuerza laboral y educación 2022, 2023)

Finalmente, la concienciación sobre los beneficios y la sostenibilidad a largo plazo que ofrecen las nuevas tecnologías y las energías renovables es crucial. Tanto las empresas como el gobierno deben fomentar una cultura de innovación y sostenibilidad, donde la implementación de soluciones tecnológicas no solo se valore por su capacidad de mejorar la eficiencia operativa, sino también por su contribución al desarrollo

económico sostenible y al bienestar social. Un país que invierte en tecnología está invirtiendo en su futuro. Un claro ejemplo es (Ulloa Ramos Cristian Samir, 2020). Los recursos destinados por el este asiático a labores de investigación y desarrollo superan en gran medida a los que se destinan en la Alianza del Pacífico como proporción del PIB, esto ha llevado a estos países a consolidarse en los mercados mundiales como referentes de innovación y tecnología con empresas multinacionales reconocidas internacionalmente. (p. 15).

Carencia en la implementación de energías renovables en Colombia:

a pesar del creciente interés y los avances en la transformación digital y la implementación de energías renovables en Colombia, el país aún enfrenta barreras significativas que dificultan una adopción amplia y efectiva de estas tecnologías. Las energías renovables no convencionales, en particular, siguen siendo recientes en su aplicación debido a la naturaleza intermitente de su producción, a diferencia de las tecnologías más consolidadas. Según (SER, 2023). Además, su eficiencia está fuertemente condicionada por factores climáticos, lo que genera incertidumbre y ralentiza su adopción tanto por parte de los inversionistas como del gobierno. Esto limita el progreso hacia un modelo energético más sostenible y resiliente.

En primer lugar, una de las principales carencias en la implementación de energías renovables en Colombia radica en la infraestructura tecnológica. La falta de una infraestructura robusta y moderna dificulta la integración de tecnologías renovables como la solar y eólica en la red eléctrica nacional. Esta situación se ve agravada por la limitada capacidad de almacenamiento de energía, lo que impide un suministro constante y fiable, especialmente en regiones remotas donde estas fuentes de energía podrían ser más útiles.

A nivel organizacional, uno de los principales desafíos es la falta de cohesión y coordinación entre las diferentes entidades responsables de la implementación de energías renovables. Este desorden organizativo se traduce en una fragmentación de esfuerzos y en la duplicación de funciones, lo que a su vez ralentiza el avance de proyectos cruciales. La falta de un enfoque unificado también impide el desarrollo de una estrategia nacional coherente que pueda guiar la transición hacia energías más limpias y sostenibles.

En cuanto a la distribución de fondos, existe una notable desproporción en la asignación de recursos para proyectos de energías renovables en comparación con otras industrias más tradicionales, como la explotación de hidrocarburos. Según (ACP, 2023). La asignación de fondos suele estar influenciada por intereses económicos y políticos, lo que deja a los proyectos de energías renovables en una situación de desventaja. Además, la falta de transparencia en el uso de estos fondos ha generado desconfianza tanto en los inversionistas nacionales como internacionales, lo que limita aún más el financiamiento y el desarrollo de nuevos proyectos.

El panorama político también ha jugado un papel crucial en la falta de avance en energías renovables. La constante lucha entre partidos y la promulgación de leyes contradictorias han creado un entorno normativo inestable que dificulta la inversión y el desarrollo de proyectos sostenibles. En lugar de complementar y fortalecer las políticas existentes, las disputas políticas a menudo resultan en la derogación de leyes previamente establecidas, lo que genera incertidumbre y desincentiva a los actores del mercado.

En comparación con las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que han visto un crecimiento considerable en Colombia, las energías renovables no han recibido la misma atención ni recursos. A pesar de que el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) ha hecho avances significativos en la digitalización del país, el sector de las energías renovables sigue rezagado, lo que impide que Colombia se convierta en un líder en sostenibilidad a nivel regional.

La transformación digital, que podría ser un aliado crucial en la transición hacia las energías renovables, también se ve afectada por estas carencias. La digitalización del sector energético permitiría una gestión más eficiente de los recursos, optimización en el uso de energía y una mejor integración de las energías renovables en la red eléctrica. Sin embargo, la falta de infraestructura tecnológica y la baja inversión en innovación impiden que Colombia aproveche plenamente estas oportunidades.

Desafíos para combatir el cambio climático en Colombia: Colombia enfrenta enormes desafíos en su lucha contra el cambio climático, una problemática que no solo afecta al medio ambiente, sino también a la economía, la salud pública y la estabilidad social del país. Estos desafíos son múltiples y requieren un enfoque integral que considere tanto la transformación digital como la implementación efectiva de energías renovables.

El primer desafío que enfrenta Colombia en la lucha contra el cambio climático es la necesidad de un cambio cultural que promueva la adopción de tecnologías sostenibles. Entender la sostenibilidad como una forma de cultura implica reconocerla como una construcción social, donde la comunidad en su conjunto participa en la adopción de prácticas que respetan y protegen el medio ambiente. Este cambio cultural es crucial para fomentar la implementación de energías renovables y la adopción de tecnologías que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

En Colombia, aún existe una resistencia significativa hacia el cambio, tanto en sectores industriales como en la población general. La falta de educación y conciencia sobre la importancia de las energías renovables y las tecnologías sostenibles ha llevado a una adopción limitada de estas soluciones. A esto se suma la percepción de que la sostenibilidad es un lujo más que una necesidad, lo que limita la disposición de la población a invertir en tecnologías limpias.

El segundo gran desafío para Colombia es la superación de barreras estructurales y económicas que impiden la adopción masiva de energías renovables. La pobreza, la desigualdad y el desempleo son factores que dificultan la inversión en tecnologías sostenibles. Muchas comunidades, especialmente en zonas rurales y apartadas, carecen de los recursos necesarios para acceder a tecnologías renovables o siquiera a servicios básicos de energía. Según (Mundial, 2023).

Además, la corrupción y la mala gestión de los fondos públicos han afectado negativamente la implementación de proyectos relacionados con la sostenibilidad. A pesar de que existen políticas y programas dirigidos a la promoción de energías renovables, la falta de transparencia y la ejecución ineficaz de los recursos han limitado su impacto. Según (COLOMBIA, 2023). Para superar este reto, es crucial que el gobierno

colombiano implemente reformas que garanticen un uso más eficiente y honesto de los fondos destinados a la lucha contra el cambio climático.

El tercer reto para Colombia en su lucha contra el cambio climático es la creación de políticas públicas efectivas y coherentes que apoyen la transición hacia un modelo energético sostenible. Aunque el gobierno ha establecido varios objetivos y estrategias para mitigar el cambio climático, la falta de coherencia y continuidad en las políticas ha sido un obstáculo importante.

Un marco regulatorio claro y estable es esencial para atraer inversiones y promover la adopción de energías renovables. Sin embargo, la burocracia y los cambios frecuentes en las políticas públicas han generado incertidumbre en el sector. Esto ha llevado a una ejecución lenta y fragmentada de proyectos, lo que retrasa la transición hacia un modelo energético sostenible.

El cuarto desafío es la necesidad de impulsar la innovación y la adaptación tecnológica en Colombia. La transformación digital juega un papel crucial en la lucha contra el cambio climático, ya que permite optimizar los procesos de producción y consumo de energía, mejorar la eficiencia de los sistemas y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, Colombia enfrenta una brecha tecnológica significativa que limita su capacidad para adoptar e implementar estas soluciones.

El país necesita invertir en investigación y desarrollo para crear tecnologías que se adapten a sus necesidades específicas y a su contexto geográfico y social. Además, es crucial que se fomente la colaboración entre el sector público, el sector privado y la academia para desarrollar soluciones innovadoras que puedan ser implementadas de manera efectiva.

Sinergia entre la Transformación Digital y las Energías Renovables para la Mitigación del Cambio Climático: en la actualidad existen diferentes tecnologías que se han popularizado en los últimos años y además permiten optimizar y modernizar las diferentes necesidades que se presentan en la sociedad, estas tecnologías digitales están revolucionando el sector de las energías renovables, mejorando la eficiencia, la gestión y la previsión en tiempo real de recursos energéticos. En Colombia, estas

herramientas son esenciales para optimizar el uso de fuentes renovables y adaptarse a los desafíos climáticos y geográficos del país.

Una de las principales áreas de impacto es la optimización de redes eléctricas mediante tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y blockchain, estas herramientas permiten integrar mejor la energía solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa, entre otras, a la red eléctrica, monitoreando el estado de las infraestructuras en tiempo real y automatizando decisiones clave para evitar el desperdicio energético.

El monitoreo y la predicción climática son áreas clave donde las tecnologías digitales permiten mejorar la eficiencia de los sistemas, donde la combinación de Big Data con IA permite una mayor capacidad para prever fenómenos climáticos extremos. Según (Opy Das, 2024), como las épocas del año con los fenómenos del niño y de la niña, que varían las capacidades energéticas de cada tecnología disponibles donde se puede disponer de abundantes lluvias, fuertes vientos o sol intenso esto beneficiando la integración y mejorando el rendimiento de estas tecnologías en el país. Estos datos permiten a los operadores energéticos tomar decisiones informadas y adaptar las infraestructuras a dichas condiciones climáticas, minimizando interrupciones y mejorando la fiabilidad del sistema.

La digitalización está cambiando cómo se gestionan los proyectos de energía renovable. Gracias a herramientas como el software de gestión y los sistemas que predicen cuándo será necesario realizar mantenimiento, es posible llevar un control mucho más eficiente y claro de estos proyectos, desde su planificación hasta el mantenimiento de las instalaciones. Estas tecnologías no solo ayudan a reducir los costos, sino que también permiten detectar problemas antes de que ocurran, lo que garantiza que las infraestructuras renovables sean más confiables y duraderas.

Las microgrids o redes eléctricas locales, junto con la generación distribuida permiten generar energía a pequeña escala y distribuida diferentes sectores del país, estas redes locales, optimizadas mediante tecnologías digitales, permiten integrar mejor la energía generada en regiones apartadas de Colombia, donde las grandes infraestructuras energéticas son menos viables, permitiendo una mayor autonomía energética a estas comunidades.

La internet de las cosas o (IoT) tiene un impacto directo en la eficiencia de los proyectos de energías renovables, instalando sensores en paneles solares, aerogeneradores y estaciones hidroeléctricas recopilan datos sobre el rendimiento de los sistemas en tiempo real. Estos datos permiten a los operadores ajustar los parámetros de funcionamiento para optimizar la producción de energía. Además, el mantenimiento predictivo, basado en los datos recopilados por IoT, reduciendo las fallas en los equipos y extiende su vida útil y contribuyendo a una operación más eficiente y sostenible.

La AES inició la transformación digital con la implementación de aplicaciones tecnológicas que ayuden a gestionar la operación, la cartera, comercialización, transacciones bursátiles y contratos. Según (Sandra Giraldo, 2021), además es dueña de uno de los proyectos más destacados del país siendo el Parque Eólico Jemeiwaa Kai, ubicado en La Guajira. Este es el proyecto eólico más grande del país, con una capacidad instalada de 648 MW, repartida entre cinco parques eólicos. Según (aes-colombia, 2019).

Otro proyecto destacado en Colombia es Celsia Solar Bolívar. En 2018 a través de su filial EPSA, Celsia implementó el Núcleo de Operaciones de Visión Avanza (NOVA), un centro tecnológico de monitoreo y control considerado uno de los más avanzados en Latinoamérica. NOVA integra diversas tecnologías, como telecomunicaciones, energía de respaldo y un centro secundario de procesamiento de datos, lo que garantiza una supervisión continua y eficiente de todos los activos energéticos. Esta infraestructura cuenta con sistemas de redundancia que aseguran la continuidad de las operaciones, incluso en situaciones críticas, ofreciendo un control constante sobre los activos monitoreados. Según (celsia, 2018).

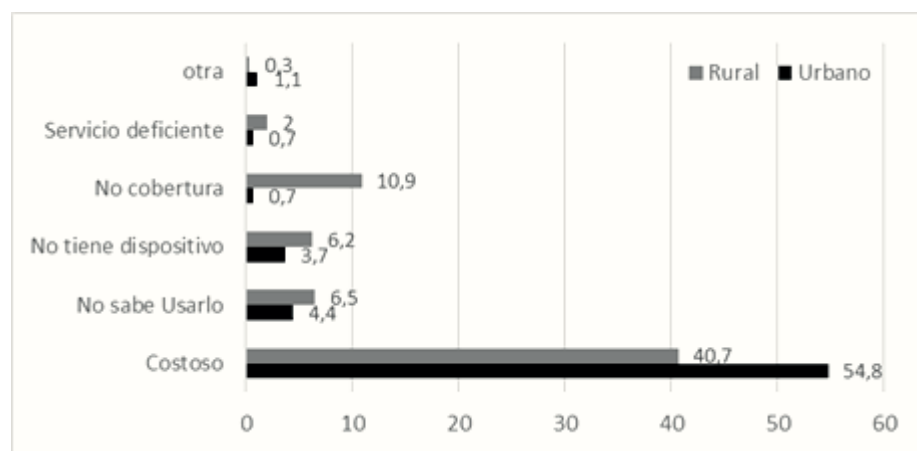
Según (Bird, 2020, pág. 3) “Se estima aproximadamente el 40% de las empresas que existen hoy en día no existirán en 10 años, ya sea porque no implementaron el cambio digital de forma oportuna o porque no lo implementaron en absoluto”. Este escenario refleja la aceleración de la **transformación digital** en todos los sectores, donde las empresas que no logran adaptarse a las nuevas tecnologías corren el riesgo de quedar obsoletas.

La transformación digital integrada con las energías renovables permite reducir las emisiones de efecto invernadero facilitando un sistema energético más eficiente, confiable y sostenible y contribuye a mitigar el cambio climático.

En Colombia, la infraestructura tecnológica para soportar una transformación digital completa del sector energético aún es insuficiente. Muchas regiones rurales carecen de acceso a redes eléctricas modernas y a Internet, lo que limita la implementación de tecnologías avanzadas como el IoT o la IA. A esto se suma la falta de capacidad para almacenar grandes cantidades de energía renovable, lo que hace que las fuentes intermitentes como la solar y la eólica no sean tan confiables en la red nacional.

Figura 4

Porcentaje de hogares rurales o urbanos con conexión a internet – DANE 2023/2024



Nota. Porcentaje de hogares rurales o urbanos con conexión a internet. Fuente: (DANE, Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías de la información y las Comunicaciones – TIC en hogares y personas de 5 y más años Departamental 2023, 2024).

La infraestructura energética de Colombia sigue siendo dependiente en gran medida de la energía hidroeléctrica, que enfrenta problemas como la sequía debido al cambio climático. Aunque el país ha avanzado en la construcción de plantas solares y eólicas, el financiamiento sigue siendo un desafío. La falta de acceso a fondos internacionales y

las altas tasas de interés limitan la capacidad de expansión de los proyectos de energía renovable.

Uno de los mayores obstáculos en el desarrollo de tecnologías digitales y energías renovables en Colombia es la inestabilidad económica y la falta de un marco normativo claro y cohesivo. La burocracia y las trabas políticas ralentizan la implementación de políticas públicas, lo que desalienta la inversión privada. Además, la corrupción y la ineficacia en la distribución de fondos públicos limitan el acceso a financiamiento para proyectos de innovación tecnológica en el sector energético.

Proceso de transformación digital para la mitigación del cambio climático: La transformación digital emerge como una estrategia esencial para mitigar el cambio climático al fusionar innovación tecnológica y sostenibilidad. Este proceso, dividido en seis fases estructuradas, no solo aborda el uso de tecnologías, sino también la creación de un modelo replicable y sostenible que impacte positivamente en la economía, la sociedad y el medio ambiente en Colombia.

Figura 5
Proceso para la transformación digital sostenible



Nota. Proceso en fases para la transformación digital orientada a la mitigación del cambio climático en Colombia. Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La transformación digital y el uso de energías renovables tienen el potencial de mitigar el cambio climático, pero su integración en Colombia enfrenta varios obstáculos. Las tecnologías como Big data, inteligencia artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT) están revolucionando la gestión energética, permitiendo un mejor monitoreo, predicción y eficiencia en el uso de recursos. Estas herramientas son clave para optimizar las infraestructuras energéticas, como parques solares y eólicos, y para prever fenómenos climáticos que afectan la producción de energía.

Sin embargo, la implementación de estas soluciones se enfrenta a dificultades. En muchas zonas rurales de Colombia, la falta de infraestruc-

tura tecnológica y la capacidad limitada de almacenamiento de energía renovable impiden que estas tecnologías tengan un mayor impacto. Además, la alta dependencia de la energía hidroeléctrica en Colombia, que constituye una parte significativa de su matriz energética, genera vulnerabilidades frente a fenómenos como El Niño, los cuales reducen la capacidad de generación eléctrica.

Otro desafío radica en la inestabilidad económica y política, que desalienta la inversión en proyectos de energías limpias. La burocracia, la corrupción y la falta de un marco normativo cohesivo dificultan el financiamiento y la adopción de tecnologías innovadoras. A pesar de la existencia de leyes como la Ley 2099 de 2021, que promueven las energías renovables, los avances aún son limitados.

La transformación digital puede ser un catalizador para el crecimiento de las energías renovables, siempre que se superen estas barreras y se fomente una mayor inversión pública y privada. La clave está en seguir impulsando políticas que favorezcan la digitalización del sector energético y la adopción de nuevas tecnologías que puedan contribuir a mitigar los efectos del cambio climático en el país.

CONCLUSIONES

La integración de la transformación digital y las energías renovables son clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia y combatir el cambio climático. Tecnologías como el IoT, la IA y los sistemas de Big data pueden optimizar el uso de energía, mejorar la eficiencia de las infraestructuras y adaptarlas a las condiciones climáticas.

Sin embargo, el país enfrenta desafíos importantes, como la falta de infraestructura, la dependencia de la energía hidroeléctrica y las dificultades económicas y políticas. Para que la sinergia entre estas dos áreas sea efectiva, se necesita un mayor esfuerzo en inversión pública y privada, así como políticas claras que apoyen la transición hacia un sistema energético más sostenible.

En conclusión, aunque existen importantes avances en el país, todavía hay mucho camino por recorrer para lograr una transición energética

completa y efectiva. La combinación de tecnologías digitales y energías renovables no solo permitirá cumplir con los compromisos medioambientales, sino que también impulsará el desarrollo económico y social sostenible de Colombia.

La siguiente tabla expone cómo cada fase del proceso de transformación digital, desde la planeación estratégica hasta la escalabilidad y replicabilidad, puede potenciar el uso de energías renovables viables para Colombia como la solar, eólica, biomasa, hidroeléctrica y geotérmica. Estas fuentes se alinean con los objetivos de sostenibilidad del país, considerando sus características geográficas y sociales.

Esto demuestra que la transformación digital no solo facilita la integración de estas fuentes de energía, sino que también mejora su implementación, permitiendo aprovechar al máximo sus beneficios para un desarrollo sostenible. Este enfoque ayuda a que Colombia avance hacia un modelo energético más limpio, resiliente y que incluya a toda la sociedad, posicionándola como un ejemplo en la transición energética.

Tabla1
Síntesis de la Estrategia Digital, Energías Renovables y Cambio Climático

Proceso de estrategia digital	Descripción	Tecnologías relevantes para Colombia	Impacto en el cambio climático	Observación y aportes	Desafíos
Planeación Estratégica	Definición de objetivos, diagnóstico de infraestructura y estrategias basadas en condiciones sociales y geográficas.	Solar, Eólica, Biomasa, Hidroeléctrica, Geotérmica, Microgrids	Reducción de gases de efecto invernadero y promueve el desarrollo sostenible.	Utilizar metodologías o guía estratégica para la planificación según el entorno geográfico.	Inversión insuficiente, falta de coordinación organizacional.

Proceso de estrategia digital	Descripción	Tecnologías relevantes para Colombia	Impacto en el cambio climático	Observación y aportes	Desafíos
Diseño de la Estrategia	Selección de tecnologías, protocolos de ciberseguridad, integración de tecnologías emergentes, evaluación de riesgos.	IoT, IA, blockchain, cloud computing, Big Data	Mejora en la predicción climática en la optimización de procesos energéticos.	Diseñar infraestructura digital escalable y desarrollar soluciones seguras para el almacenamiento y análisis de datos.	Infraestructura tecnológica limitada en zonas rurales.
Implementación y Adopción	Experiencia del cliente, capacitación, programas comunitarios, gestión del talento, pruebas piloto.	Plataformas digitales, Aplicaciones móviles, Sensores IoT	Gestión eficiente y sostenible en tiempo real de los recursos energéticos.	Desarrollar apps móviles para gestión energética y plataformas de monitoreo en tiempo real.	Baja capacitación técnica en comunidades rurales.
Evaluación y Optimización	Medición del progreso, evaluación de impacto y mejora continua.	Software de monitoreo, almacenamiento energético, herramientas de análisis de datos.	Supervisión eficiente de recursos, reducción de desperdicios.	Diseñar dashboards interactivos y sistemas de alerta temprana	Falta de colaboración entre las diferentes entidades.
Sostenibilidad y Progreso Continuo	Métricas éticas y sociales, mejora continua, adaptación a normativas, comité de gobernanza.	Herramientas de gestión de proyectos, plataformas colaborativas	Garantiza la sostenibilidad a largo plazo, el cumplimiento normativo, y la aceptación social de proyectos.	Desarrollo de herramientas para monitorear métricas sociales y ambientales.	Escasez de políticas de largo plazo y cambios frecuentes en normativas.

Proceso de estrategia digital	Descripción	Tecnologías relevantes para Colombia	Impacto en el cambio climático	Observación y aportes	Desafíos
Escalabilidad y Replicabilidad	Diseño de un modelo replicable, alianzas internacionales, promoción de resultados.	Plataformas de código abierto, estándares internacionales.	Facilita la expansión de proyectos exitosos en nuevos contextos.	Crear modelos que se adapten a diferentes escalas y fomentar el uso de estándares.	Limitado acceso a financiamiento internacional.

Nota. Estrategia digital para la transición energética en Colombia, desde la planificación hasta la escalabilidad, destacando tanto las oportunidades como los desafíos. Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS

Abril, J. A. (08 de Abril de 2024). *Bogota*. Consulta aquí zonas y horarios de racionamiento de agua en Bogotá y municipios: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/raconamiento-de-agua-bogota-zonas-y-horarios-restriccion-abril-2024>

ACP. (2023). *TENDENCIAS DE INVERSIÓN EN EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN (E&P) DE PETRÓLEO Y GAS EN COLOMBIA 2022 Y PERSPECTIVAS 2023*. ACP. <https://acp.com.co/portal/wp-content/uploads/2023/02/TENDENCIAS-DE-INVERSION-EN-EXPLORACION-Y-PRODUCCION-EP-DE-PETROLEO-Y-GAS-EN-COLOMBIA-2022-Y-PERSPECTIVAS-2023.pdf>

aescolombia. (24 de Octubre de 2019). *aes Colombia*. AES Colombia será responsable del 29% de la nueva energía renovable del país: <https://www.aescol.com/es/press-release/aes-colombia-sera-responsable-del-29-de-la-nueva-energia-renovable-del-pais>

Amazon Web Services. (s.f.). *AWS*. ¿Qué es la transformación digital?: <https://aws.amazon.com/es/what-is/digital-transformation/>

Arango, T. (2020). *Colombia potencia energetica*. Bogota: La Republica. <https://www.colombiapotenciaenergetica.com/interna.html>

Arce, G. (13 de Diciembre de 2023). *Economia Colombiana*. Una transición necesaria para la "Transición Energética": <https://www.>

- economiacolombiana.co/economia/una-transicion-necesaria-para-la-transicion-energetica-3649
- Aristizábal, J. C. (2004). Del 650 al 360: los primeros computadores memoria de la Facultad de Ingeniería. *Revista de ingeniería*, 105-107. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n20/n20a14.pdf>
- Ayde Catalina Figueroa Castro, J. L. (2023). *ACTUALIDAD DEL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO*. Corficolombiana. <https://investigaciones.corfi.com/documents/38211/0/Informe%20Sectorial%20Sector%20Electrico%2024012023%20VF.pdf/6f0862d8-aacb-40fd-cc3e-0c95916bceba>
- Bird, B. &. (2020). La transformación digital de la industria energética. *bird & bird*. <https://www.twobirds.com/-/media/pdfs/brochures/sectors/energy/202001internationalenergy-digitalisationbrochurefinal-spanish.pdf>
- Caballero Argáez, C. (2019). Una visión retrospectiva de dos crisis financieras de los últimos cuarenta años en Colombia. *Desarrollo y Sociedad*, 1(82), 133-165. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/dys/article/view/6731/6977>
- celsia. (02 de Marzo de 2018). *celsia*. Celsia lanza NOVA, centro de última tecnología para el monitoreo y control de activos: <https://www.celsia.com/es/noticias/celsia-lanza-nova-centro-de-ultima-tecnologia-para-el-monitoreo-y-control-de-activos/>
- COLOMBIA, C. T. (2023). *HACIA UNA LECTURA DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DESDE UNA PERSPECTIVA ANTICORRUPCIÓN*. Bogota. https://transparenciacolombia.org.co/wp-content/uploads/2023/10/TEdesdeperspectivaAnticorruptcion_versFINAL.pdf
- Congreso de la republica de Colombia. (1928, 15 Noviembre). *Ley 113*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8268>
- Congreso de la Republica de Colombia. (1940, 18 Mayo). *Decreto 968*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78419#:~:text=Por%20el%20cual%20se%20crea,Ministerio%20de%20la%20Econom%C3%ADa%20Nacional.>
- Congreso de la Republica de Colombia. (1968, 20 Noviembre). *DECRETO 2869*. Bogota: Gaceta oficial del congreso. <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/decreto-2869-1968.pdf>

- Congreso de la republica de Colombia. (1981,1 Septiembre). *Ley 56*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=279>
- Congreso de la Republica de Colombia. (1991, 26 febrero). *DECRETO 585*. Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=15707#:~:text=Por%20el%20cual%20se%20crea,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones>.
- Congreso de la republica de Colombia. (1991, 4 julio). *Articulo 20*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.acnur.org/filadmin/Documentos/BDL/2001/0219.pdf>
- Congreso de la republica de Colombia. (1991, 4 Julio). *Articulo 61*. Bogota: Gaceta oficial del congreso. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2001/0219.pdf>
- Congreso de la republica de Colombia. (1991, 4 Julio). *Articulo 80*. Bogota: Gaceta oficial del congreso. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2001/0219.pdf>
- Congreso de la Republica de Colombia. (1991,4 julio). *Articulo 15*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.acnur.org/filadmin/Documentos/BDL/2001/0219.pdf>
- Congreso de la republica de Colombia. (1994, 11 Julio). *Ley 142*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>
- Congreso de la Republica de Colombia. (1994, 27 octubre). *Ley 164*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=21970>
- Congreso de la Republica de Colombia. (2000, 27 Diciembre). *Ley 629*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/2.-Ley-629-de-2000.pdf>
- Congreso de la republica de Colombia. (2014, 13 Mayo). *Ley 1715*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Congreso de la republica de Colombia. (2016, 24 Febrero). *Decreto 298*. Bogota: Gaceta oficial del congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=68173>
- Congreso de la republica de Colombia. (2017, 1 Junio). *Decreto 926*. Bogota: Gacete oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=81936>

- Congreso de la republica de Colombia. (2018, 1 Agosto). *RESOLUCIÓN 1447*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/15.-Resolucion-1447-de-2018.pdf>
- Congreso de la Republica de Colombia. (2019, 22 Noviembre). *Ley 2106*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=103352>
- Congreso de la republica de Colombia. (2019, 29 Diciembre). *Ley 1819*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79140>
- Congreso de la Republica de Colombia. (2020, 25 Agosto). *Ley 2052*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=140250>
- Congreso de la Republica de Colombia. (2020, 27 Julio). *LEY 2036*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=137050>
- Congreso de la Republica de Colombia. (2021, 10 Julio). *LEY 2099*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>
- Congreso de la Republica de Colombia. (2022, 16 Mayo). *Decreto 767*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=186766>
- Congreso de la Republica de Colombia. (2022, 22 Julio). *Decreto 1263*. Bogota: Gaceta oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=190206>
- DANE. (2021). *ENCUESTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES EN EMPRESAS (ENTIC EMPRESAS) 2019*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/entic/bol_entic_empresas_2019.pdf
- DANE. (2023). *Fuerza laboral y educación 2022*. Bogota. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/GEIH/bol-GEIHFLE-2022.pdf>
- DANE. (2024). *Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías de la información y las Comunicaciones – TIC en hogares y personas de 5 y más años de edad Departamental 2023*. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/TICH/bol-TICH-2023.pdf>
- Departamento Nacional de Planeacion. (07 de Julio de 2023). *El Plan Nacional de Desarrollo marca la ruta de la transición energética del país*. Departamento Nacional de Planeacion: https://www.dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/el-plan-nacional-de-de

- sarrollo-marca-la-ruta-de-la-transicion-energetica-del-pais.aspx#:~:text=energ%C3%A9tica%20del%20pa%C3%ADs,El%20Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo%20marca%20la,la%20transici%C3%B3n%20en
- DNP-BID. (2015). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia - Síntesis*. Bogotá. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/37879>
- Domingo Borba, M. A. (2020). El uso responsable y seguro de internet: Aportes para la conformación de la ciudadanía digital. *Sb editorial*, 82. <https://www.editorialsb.com/product-page/el-uso-responsable-y-seguro-de-internet-borba-y-avalos>
- Ecopetrol. (09 de Diciembre de 2022). *Ecopetrol*. El Grupo Ecopetrol invertirá entre COP 25.3 y COP 29.8 billones en 2023 para acelerar la senda de transición y soberanía energética: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/inversion-ge-2023-transicion-energetica>
- FENOGE. (s.f.). *FENOGE*. Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER: <https://fenoge.gov.co/gestion-del-conocimiento/fuentes-no-convencionales-de-energia-fncer/>
- Font, E. V. (03 de Agosto de 2020). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Energías renovables y no renovables Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29102/1/BCN_Energia_renovable_y_no_renovableventajas_y_desventajas_final.pdf
- Hidalgo, J. I. (2018). Cronograma del sector Electrico Colombiano. *Revista Santander*(9), 56-77. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasantander/article/view/8864/8757>
- Institucional, C. (17 de Mayo de 2022). *Canal Institucional*. ¿Sabes cómo llegó la electricidad en Colombia? Te contamos la historia: <https://www.canalinstitucional.tv/historia-electricidad-en-colombia>
- IPCC. (2023). *La acción climática urgente puede garantizar un futuro habitable para todos*. INTERLAKEN. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC_AR6_SYR_PressRelease_es.pdf
- M., J. R. (17 de Junio de 2023). *Portafolio*. ¡Que se haga la luz! Así se genera la energía eléctrica en Colombia: [254](https://www.por-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- tafolio.co/economia/infraestructura/sector-electrico-en-colombia-asi-funciona-la-generacion-de-energia-en-el-pais-584285
- Mary Luz Ortiz, I. D. (2019). La integración de Colombia a la sociedad de la información. *RevIISE - Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 11(14), 73-86. <https://www.redalyc.org/journal/5535/553565478006/html/>
- Ministerio de minas y energía. (2024). Escenarios nacionales Transición Energética Justa. Bogotá. <https://www.minenergia.gov.co/documents/12383/Escenarios-TEJ-2024.pdf>
- Mundial, G. B. (2023). *Informe Sobre Clima y Desarrollo del país*. Washington. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099072023124015474/pdf/P1781040f920a400809a2c09e70149f435b.pdf>
- Nasa. (s.f.). *Nasa*. Las causas del cambio climático: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/causas/>
- Nishitha Perera, H. D. (2024). The interconnectedness of energy consumption with economic growth: A granger causality analysis. *Science Direct*, 10(17). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024127405>
- Opy Das, M. H. (2024). Advancements in Digital Twin Technology and Machine Learning for Energy Systems: A Comprehensive Review of Applications in Smart Grids, Renewable Energy, and Electric Vehicle Optimisation. *Energy Conversion and Management: X*, 24. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174524001934>
- Power, L. C. (25 de Marzo de 2022). *Low Carbon Power*. ¿De dónde provienen nuestros números de emisiones?: <https://lowcarbon-power.org/es/blog/emissions>
- Republica, L. (20 de Febrero de 2020). *LR*. Ningún sector es más importante que la energía: <https://www.larepublica.co/opinion/editorial/ningun-sector-es-mas-importante-que-la-energia-2967004#:~:text=A%20la%20luz%20de%20las,in-gresos%20corrientes%20de%20la%20Naci%C3%B3n>
- Reynoso, L. (17 de Abril de 2024). *El País*. Colombia se enfrenta al riesgo de quedarse a oscuras ante la falta de energía: <https://el-pais.com/america-colombia/2024-04-18/colombia-se-enfrenta-al-riesgo-de-quedarse-a-oscuras-ante-la-falta-de-energia.html>
- Romero, A. (07 de Mayo de 2019). *Universidad externado de Colombia*. Colombia: Un resumen histórico de nuestras crisis económicas

- y lo que nos espera. Blog de Derecho de los Negocios: <https://dernegocios.uexternado.edu.co/controversia/colombia-un-resumen-historico-de-nuestras-crisis-economicas-y-lo-que-nos-es-pera/>
- Salazar, Y. Y. (2024). Importancia de una política industrial acorde al contexto nacional en la cuarta revolución industrial: Lecciones de Japón para América Latina. *Telos: Revista De Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 25(3), 944-957. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9154821>
- Sandra Giraldo, D. I. (2021). Digital Transformation of Energy Companies: A Colombian Case Study. *Energies*, 14(9). https://www.researchgate.net/publication/351175842_Digital_Transformation_of_Energy_Companies_A_Colombian_Case_Study
- Semana. (02 de Marzo de 2017). *Semana*. IBM 650: La primera computadora que llegó a Colombia hace 60 años: <https://www.semana.com/emprendimiento/articulo/primer-computadora-que-llego-a-colombia-hace-60-anos/242630/>
- SER. (2023). *Proyectos de Energías Renovables 2023-2024 oportunidades y desafíos para su ejecución*. SER Colombia. <https://ser-colombia.org/wp-content/uploads/2023/07/REVISTA.pdf>
- smil, V. (2021). *Energía y civilización. Una historia*. Arpa. <https://arpaeditores.com/products/energia-y-civilizacion-una-historia-1>
- Ulloa Ramos Cristian Samir, N. C. (2020). Importancia de la ciencia, tecnología e innovación en el crecimiento económico comparativo América Latina y tigres asiáticos. *UCV - SCIENTIA*, 12(1), 49-64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7885966>
- Universidades, S. (02 de Diciembre de 2021). *Santander Open Academy*. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la tecnología actual?: <https://www.santanderopenacademy.com/es/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-tecnologia.html>
- UPME. (2023). *Actualización plan energético nacional(PEN) 2022-2050*. Bogotá. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2020_2050/Actualizacion_PEN_2022-2052_VF.pdf
- UPME. (2024). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024-2038*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Proyeccion_demanda_energia_electrica_y_potencia_maxima_rev_jul2024.pdf

- UPME. (s.f.). *unfccc*. COLOMBIA Y EL PROTOCOLO DE KIOTO:
https://unfccc.int/files/adaptation/adverse_effects_and_response_measures_art_48/application/pdf/200310_ed_paper_colombia.pdf
- XM. (2020). *En Colombia Factor de emisión de CO2 por generación eléctrica del Sistema Interconectado: 164.38 gramos de CO2 por kilovatio hora*. XM. <https://www.xm.com.co/noticias/en-colombia-factor-de-emision-de-co2-por-generacion-electrica-del-sistema-interconectado>

El futuro del transporte: pagos QR y su impacto en la movilidad urbana

Santiago Alexander Aguilar Torres¹

RESUMEN

El transporte urbano enfrenta deficiencias significativas, especialmente en los métodos de pago de autobuses, que causan retrasos e insatisfacción. Para abordar este problema, se desarrolló ViajeExpress, una plataforma web basada en códigos QR que busca mejorar la eficiencia, seguridad y satisfacción de los usuarios. El estudio se enfoca en Tunja, donde el sistema de pagos no ha experimentado cambios recientes. La investigación tiene como objetivo implementar un sistema de pago con códigos QR para optimizar la gestión de ingresos de las empresas de transporte y mejorar la experiencia del usuario. La metodología incluye cinco fases: investigación inicial, innovación tecnológica, entrevistas con stakeholders, análisis cualitativo de datos y discusión de resultados.

Los hallazgos revelan problemas de higiene e ineficiencias en el sistema actual. La solución propuesta, basada en tecnologías como Node.js y TypeScript, promete resolver estos problemas, facilitando transacciones rápidas y convenientes. Aunque el sistema demuestra ser efectivo para aumentar la productividad y la satisfacción del usuario, su implementación exitosa requiere superar obstáculos técnicos y de aceptación. Esta innovación podría mejorar significativamente las políticas públicas en entornos urbanos y la calidad del servicio de transporte.

Palabras Clave: Aplicación web, Códigos QR, Innovación, Pago digital, Transporte urbano.

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. santiago.aguilart@usantoto.edu.co. Artículo escrito en coautoría con Pablo Nicolás Aguilar Chinome, la MSc. Angie Lorena Suárez Rojas y el MSc. Sergio Arley Puerto Moreno.

ABSTRACT

Urban transportation faces significant shortcomings, especially in bus payment methods, which cause delays and dissatisfaction. To address this problem, ViajeExpress, a web platform based on QR codes, was developed to improve efficiency, security and user satisfaction. The study focuses on Tunja, where the payment system has not undergone recent changes. The research aims to implement a payment system with QR codes to optimize the revenue management of transportation companies and improve the user experience. The methodology includes five phases: initial research, technological innovation, stakeholder interviews, qualitative data analysis and discussion of results.

The findings reveal hygiene problems and inefficiencies in the current system. The proposed solution, based on technologies such as Node.js and TypeScript, promises to solve these problems by facilitating fast and convenient transactions. Although the system proves to be effective in increasing productivity and user satisfaction, its successful implementation requires overcoming technical and acceptance hurdles. This innovation could significantly improve public policy in urban environments and the quality of transportation services.

Keywords: Digital payment, Innovation, QR codes, Urban transportation, Web applications,

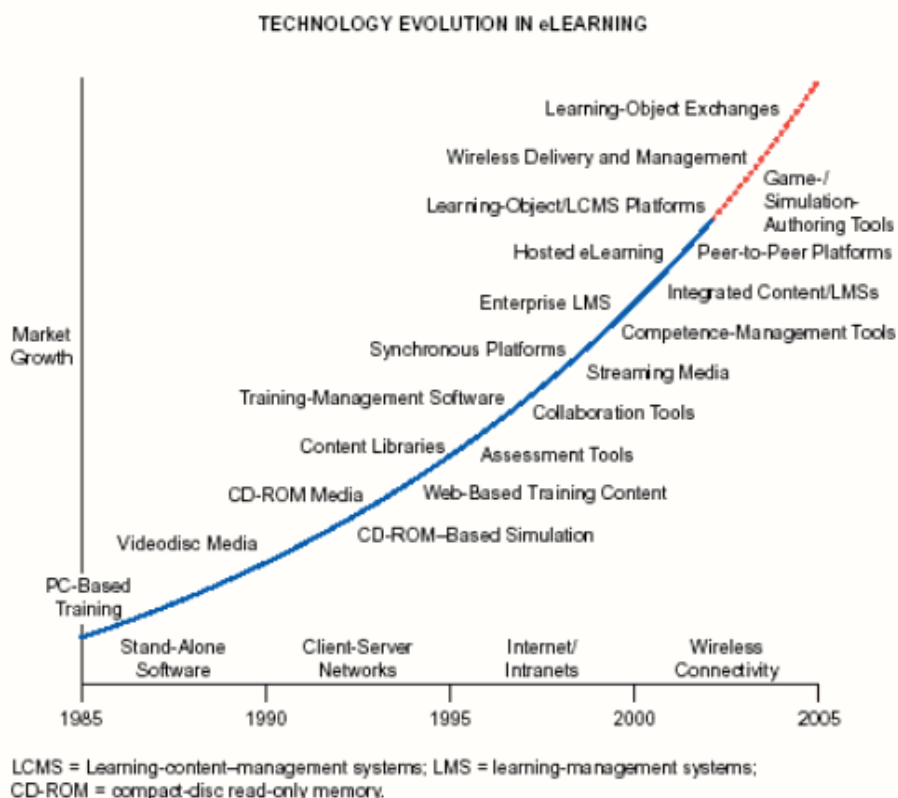
INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica se encuentra en constante cambio. Las tecnologías digitales de sitios web y las tecnologías de educación a distancia, entre estas el eLearning han tenido una continua evolución, ya que el hombre y la tecnología han tenido una relación estrecha para su crecimiento, con el fin de satisfacer esa necesidad de adquirir conocimiento y realizar descubrimientos. Sin embargo, en Colombia no se ha avanzado mucho en traer esta era digital, según el DANE, las TICs en este país no son aprovechadas en su totalidad debido a que la mayoría de las empresas no tienen la capacidad económica para hacer uso de las tecnologías. El gobierno colombiano, para empezar a contrarrestar esta situación, ha venido trabajando en un plan llamado “plan vive digital

Colombia”, que al momento de realizar el estudio solo el 3,6% de las empresas aumentaron el uso del internet al tener más computadoras en sus instalaciones, siendo esto una cifra muy baja para lo que se busca en Colombia (Ramírez Londoño & Perea Mosquera, 2021). Nosotros nos podemos fijar en la ciudad de Tunja como un ejemplo de esto, donde en su transporte público el uso de tecnología es bajo o prácticamente nulo.

Figura 1

Diagrama de la evolución de tecnológica en e-Learning



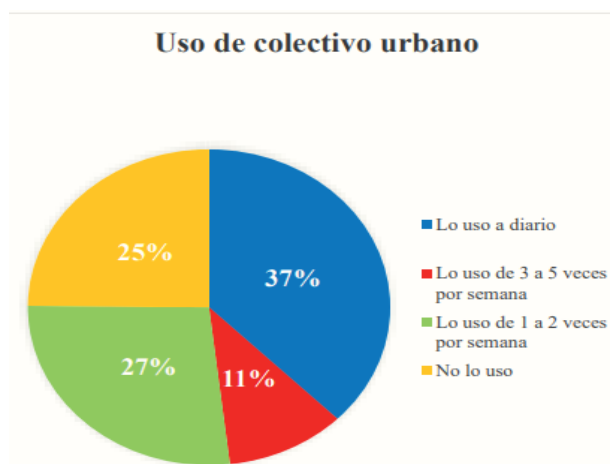
Nota. Este diagrama muestra el aumento del uso de las tecnologías de e-Learning desde 1985 hasta 2005 con respecto a su crecimiento en el mercado. Fuente: Ramírez Londoño & Perea Mosquera (2021).

El transporte público es uno de los medios de transporte más usados en la ciudad de Tunja, a tal punto que una gran parte de la población lo ha usado y lo usa seguidamente. Según la investigación previa, el diag-

nóstico de movilidad sostenible en ciudades intermedias aplicado en la ciudad de Tunja se evidencia un constante uso del transporte público; el diagnóstico de movilidad presentado por Andrés Briceño y Jorge Pardo muestra que más de la mitad de los encuestados (65,2%) informan el uso del transporte público colectivo urbano con regularidad, ya sea diario o varias veces por semana (Briceño Chaparro & Pardo Luis, 2023).

Figura 2

Diagrama del uso del bus urbano



Nota. Gráfica del uso del colectivo urbano en la ciudad de Tunja de acuerdo con la cantidad de uso que le dan los habitantes de la ciudad de Tunja. Fuente: Briceño Chaparro & Pardo Luis (2023).

Mostrando así el constante uso del transporte público de la ciudad de Tunja, sin embargo, el transporte urbano tiene grandes deficiencias que causan conflictos, retrasos e insatisfacción. Esto se debe al conteo de pasajeros no acorde con el producido, lo que genera pérdidas en el porcentaje de ganancias. Además, al pagar con billetes de alta denominación, algunos conductores manifiestan sentirse estresados cuando no tienen forma de devolver el restante del dinero que se les está pagando (Cruz Alvarado & Ocaion Prieto, 2022). Estas deficiencias se dan a partir de los métodos de pago tradicionales en los buses urbanos, los cuales tienden a ser obsoletos en la era actual y causan retrasos debido a que el conductor debe contar rápidamente el efectivo que debe devolver si le dan un billete de alta denominación y, en consecuencia, aumenta

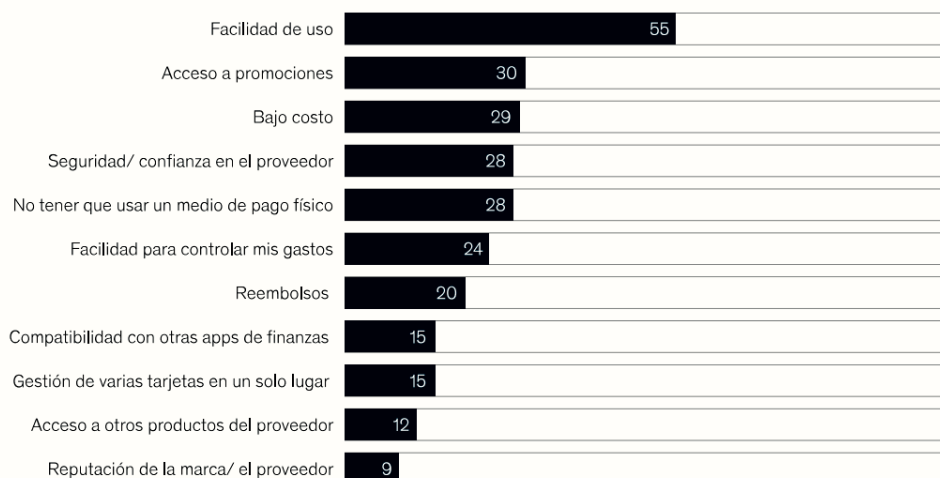
el peligro de propagación de enfermedades por el contacto que ambos individuos tienen con el efectivo.

Para innovar en la ciudad de Tunja estos pagos tradicionales en buses urbanos, surge la propuesta de desarrollo tecnológico denominado ViajeExpress, una plataforma web responsiva acompañada de una app móvil basadas en códigos QR que busca brindar a los usuarios del transporte público una experiencia de pago más rápida, precisa, segura y satisfactoria. Este sistema se enfoca en la disminución de los factores de riesgo y un aumento en la aceptación de los usuarios, ya que existe una fuerte correlación entre la aceptación del pago móvil, la credibilidad en los rendimientos esperados (Ebubedike, Mohammed, NellikunnelC, & Seng Teck, 2022).

Según la investigación de Felipe Cabrera, Nicolás Mizrahi, Jesús Moreno y Pablo Zabaleta, Colombia es uno de los países donde más se admiten los pagos por medio móvil. Además, en los países donde el uso de pagos móviles no está tan difundido, como Chile, República Dominicana, Ecuador y Guatemala, los participantes manifestaron estar dispuestos a usar este método si fuera ampliamente aceptado y fácil de usar en las tiendas (Cabrera, Mizrahi, Moreno, & Zabaleta, 2023). De acuerdo con el siguiente gráfico, se observan las razones principales por las que se elige el medio de pago móvil.

Figura 3

Diagrama de las razones principales por las que se elige un medio de pago móvil.



Nota. razones principales por las que se elige un medio de pago móvil.

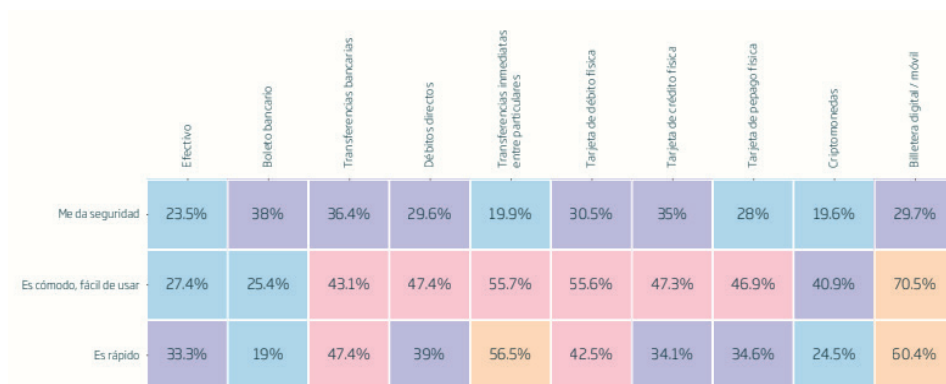
Fuente: Cabrera, Mizrahi, Moreno & Zabaleta (2023).

METODOLOGÍA

Investigación inicial que incluye un análisis de mercado de tecnologías de pago QR y una evaluación cualitativa de las deficiencias en el transporte urbano.

Según un estudio de la Cámara Colombiana de Comercio Electrónico (2021), en 2020 se registró un crecimiento del 37% en el comercio electrónico en el país, además el uso de billeteras móviles ha crecido un 74%, y los pagos móviles representan el 24% de las transacciones realizadas a través de medios electrónicos (Fajardo Chavarro & Berbeo Cuelar, 2022). Con esto se observa un gran crecimiento para la era digital y los pagos móviles. Según la gráfica de calor del informe tendencias de medios de pago, el factor que más se relaciona con las billeteras digitales en dispositivos móviles es la comodidad, facilidad de uso y su rapidez (minsalt Pyments, 2022). Esto aumenta en la aceptación de las personas en el uso de billeteras digitales.

Figura 4
Diagrama de calor en tendencias en medios de pago.



Nota. Diagrama de calor en tendencias en medios de pago. Fuente: min-salt Pyments (2022).

Según el PMT, el comportamiento humano de evitar amenazas se basa en los siguientes factores: (1) la gravedad percibida de una amenaza; (2) la creencia o confianza de las personas en su capacidad para reaccionar ante la situación; (3) probabilidad de que ocurra la amenaza; y (4) la probabilidad de que un comportamiento de respuesta funcione. Con estas bases del comportamiento se puede llegar a la conclusión de que las personas tomarán medidas de acuerdo a su salud, enfocándose en reducir la vida microbiana y sus posibilidades de infección, por lo que buscarán un modo más sano como el pagar por medio de móviles o tecnologías contactless (Hamzah, 2023).

Según BBVA, en 2020 tan solo el 17,6% de los adultos mayores ingresan a su cuenta bancaria vía internet, además de que 5 de cada 10 usan su tarjeta débito, y 4 de cada 10 usan su tarjeta de crédito. Por lo que son un sector alejado de estos métodos y que se pueden ver afectados si se llegasen a totalizar los pagos electrónicos. Así mismo, el sector no bancarizado también resulta afectado, pues al no tener cuentas bancarias o manejar estos medios, les resulta imposible acceder a ciertos bienes y servicios que son ofrecidos mediante plataformas web, y que a su vez sólo ofrecen como medio de pago los electrónicos. Para buscar una solución a esta problemática, se centra en la creación inicial de un sistema no solamente digital, sino también semi-físico, buscando la aceptación

de un público que no está muy enfocado en la era tecnológica mientras se adaptan a la nueva era de pagos digitales.

Para la solución de estas problemáticas, se pensó inicialmente en las tarjetas utilizadas en el transporte público de la ciudad de Bogotá, las cuales Permiten el acceso al sistema Transmilenio y a los servicios zonales del SITP. Funciona como tarjeta recargable y tiene la opción de ser personalizada con el fin de dar beneficios al usuario como descuentos en trasbordos y viajes a crédito. Sin embargo, se busca mejorar la seguridad y comodidad del usuario, ya que le perjudicaría tener que llevar una tarjeta demás en su día a día, por lo que se pensó mejor en la implementación de un aplicativo móvil donde en vez de llevar una tarjeta extra, el usuario solo lleve consigo una en su dispositivo móvil.

Los altos costos de adquirir las tarjetas han llevado a que proliferen los pagos a través de las billeteras móviles como Daviplata y Nequi con costos mucho menores de aceptación, sobre todo en los micro comercios (Arango et al., 2021). La entrada de este tipo de pagos móviles, así como la competencia de pagos a través de códigos QR, ha llevado a que las transferencias sean más baratas y se acerquen al efectivo dados los bajos costos que estos implican para los comercios. Esto mismo se aplica para la industria del transporte público donde los costos de implementación serían relativamente bajos (Arango-Arango, Betancourt-García, & Restrepo-Bernal, 2022).

El código bidimensional o código QR es una gráfica distribuida en un espacio bidimensional según reglas específicas, que contiene información. Esta información se convierte al formato de código bidimensional mediante codificación, y el código puede ser decodificado para restaurar la información contenida. El QR, el medio de pago digital diseñado para realizar el pago o escaneo de diversos medios, en esta investigación nos enfocamos en el pago en móviles, según los estudios de Conciliación bancaria de las transacciones a través de códigos QR en el sector de estaciones de servicios (Gutiérrez Builes & Pamplona Sánchez, 2022). El QR inicialmente estaba destinado para el seguimiento de vehículos, pero su alta capacidad, legibilidad y robustez lo llevaron a ser usa de más formas, el QR se volvió una herramienta utilizada en la publicidad y marketing. Con la llegada de los teléfonos móviles, este pasó a dar uso en las transacciones ofreciendo comodidad y eficiencia transformando

los procesos de pago de las personas y empresas (Alam, Ahmed, Kokash, Mahmud, & Sharnali, 2024).

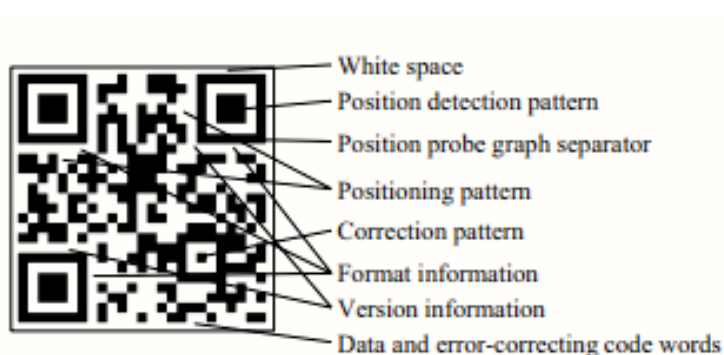
El código QR tiene tres características principales:

- 1) Alta capacidad de almacenamiento de datos.
- 2) Fuerte tolerancia a fallos.
- 3) Reconocimiento de alta velocidad y multiángulo.

Además, tiene gráficos de detección de posición en tres esquinas para determinar la posición, dirección y tamaño específicos, permitiendo una lectura rápida y completa en 360°. (HualongYe & Xu, 2023).

Figura 5

Imagen de las partes del código QR



Nota. La figura muestra las distintas secciones que componen un código QR, destacando elementos como el patrón de detección de posición y las palabras de código de corrección de errores. Fuente: HualongYe & Xu (2023).

El pago con código QR tiene muchas ventajas. Por ejemplo, puede reemplazar el pago con tarjeta, los comerciantes no necesitan preparar una máquina de tarjetas y papel de impresión, sólo un código QR de recibo. Además, mejora la eficacia operativa, reduce los costes, atrae a los clientes y facilita la publicidad. Del mismo modo, dos personas pueden transferirse dinero mutuamente con sólo escanear mutuamente, sin

introducir ninguna tarjeta bancaria ni información personal. Con lo anterior, podemos sacar la importancia y la facilidad del QR, ya que el aplicativo web que se piensa realizar reducirá en gran medida los costos de la infraestructura de transportes en Tunja y a su vez le dará un mejor avance tecnológico en comparación con las tarjetas usadas por el SITP de Bogotá. Además, también se puede generar un recibo electrónico donde la persona puede ver el costo de transacción junto a su historial de las transacciones realizadas.

La satisfacción del cliente depende directamente de la experiencia de los clientes durante los períodos de encuentro con el servicio. La satisfacción puede describirse como un estado emocional que puede estimarse sobre la base de las experiencias relacionales compartidas entre el cliente y el vendedor, y la satisfacción debe considerarse como el objetivo principal de cualquier organización. Según esto, si se quiere lealtad de un cliente, se debe buscar un sistema rápido, cómodo y seguro para adquirir una aceptación, satisfacción y lealtad rápida en los usuarios del transporte público en la ciudad de Tunja.

Cuando se comparan los pagos móviles con los métodos de pago tradicionales, la diferencia que crean en términos de velocidad de transacción también difiere las experiencias de los usuarios de manera positiva. La tecnología NFC en m-payments es una aplicación que permite a los usuarios completar la transacción en terminales de punto de venta sin requerir ningún contacto entre el usuario y el comerciante, lo que permite a los usuarios percibir la transacción fácilmente y tener experiencias positivas. La rápida realización de los procesos de pago en m-payments realizados a través de código QR se considera como una de las facilidades de uso más importantes de la aplicación. Como resultado, la velocidad de las transacciones es uno de los requisitos importantes para que los usuarios tengan una experiencia positiva. (Tan et al. 2014; Boden et al. 2020). La rápida realización de los procesos de pago en m-payments realizados a través de código QR se considera como una de las facilidades de uso más importantes de la aplicación (Teo et al. 2015). Como resultado, la velocidad de las transacciones es uno de los requisitos importantes para que los usuarios tengan una experiencia positiva en las transacciones de pago (Chen 2008). Se predice que la alta velocidad de transacción del pago móvil con código QR puede afectar

positivamente la experiencia del cliente, ya que los usuarios encuentran útil la aplicación. (Eren, 2024)

Innovación tecnológica, desarrollando un sistema de pago QR utilizando tecnología avanzada: Para esto, se desea inicialmente la construcción de una aplicación web en el apartado móvil, centrándose en la sección de frontend usando React. React se destaca por características como su velocidad de renderizado, flexibilidad y ligereza, simplicidad, capacidad de reutilizar código, respaldo de la comunidad y su Virtual DOM, que aporta gran velocidad en las operaciones (Ferrerres, 2020).

Además, se busca una aplicación responsiva, ya que se quiere que la aplicación se vea bien independientemente del tamaño de la pantalla del dispositivo por donde se vea, manteniendo así la calidad de la información mostrada y asegurando la comodidad del usuario (Gómez-Sierra, 2021).

Para el apartado de seguridad, se necesita crear una cuenta para el usuario, donde este podrá ingresar y pagar con dinero electrónico que se generará mediante la constante creación de códigos QR, evitando así el robo de información. Además, en el modo de ingreso al bus, se buscan instalar módulos de empresas de seguridad como Armatura, evaluando sus precios en el mercado.

Tabla 1
Arquitecturas del sistema de seguridad

Referencia		Características	cantidad	valor
EP20C	 Fuente. (Armatu- ra, 2022)	• Arquitectura de seguridad avanzada • Admite más de 100 tipos de credenciales RFID • Admite NFC móvil y Bluetooth • Teclado táctil/ Escáner de código QR • Protección IP68 • Norma de seguridad UL746C (F1) y El material de la carcasa cumple la norma UL 94V-0 • Credencial móvil y RFID multitecnológica	1	1.000.000

Referencia		Características	cantidad	valor
EP30CF	 Fuente. (Armatu- ra, 2023)	• Lector biométrico OSDP • Credencial móvil y RFID con multi-tecnología • Tecnología avanzada de escaneo de huellas dactilares • Diseño avanzado de ciberseguridad • Ataque Anti-SPA/ DPA/ EMA/ DEMA • Admisión de NFC y QR	1	\$3.000.000

Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Se contempló añadir un sistema de palanquetas o torniquetes, tras realizar la estimación de costos del torniquete el más viable es el torniquete de la marca Gunnebo con referencia SLIMSTILE BA LITE. (Balsero Meneses & Vargas Garcia, 2019).

Figura 6
Imagen de un torniquete



Nota. Torniquete SLIMSTILE BA LITE. Fuente: Balsero Meneses & Vargas Garcia (2019).

Después de la investigación de seguridad, se procede a un primer prototipo de la aplicación web donde, con base a los requerimientos (las deficiencias del servicio público de Tunja), se identifican los requisitos conocidos y se desarrolla rápidamente un prototipo o maqueta que posteriormente evalúa el cliente utilizándolo y ayudando a refinar de nuevo los requisitos del software a desarrollar. Este proceso se seguirá repitiendo hasta que el cliente quede satisfecho con el desarrollo del software (Delgado Olivera & Díaz Alonso, 2020).

Figura 7
Inicio de aplicación móvil



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En este apartado funcional aparecen las notificaciones de pago del usuario junto con el historial de registro de transacciones de los usuarios para mantener al tanto los movimientos que ha realizado el usuario en su cuenta con el fin de evitar robos o phishing (suplantación de identidad).

Figura 8
Movimientos realizados



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Entrevistas con conductores, empresas de transporte y usuarios para recopilar información: Estas entrevistas fueron sacadas de los factores que estresan a conductores de transporte público colectivo urbano en Tunja, donde se tomaron como referencia 80 encuestas realizadas a conductores del servicio público de la ciudad, determinando que uno de los factores que los estresa es el sistema de conteo de pasajeros utilizado, ya que, al ser un sensor, se dan situaciones donde los usuarios marcan

varias veces, presentándose descuadres entre el conteo y el producido diario. Además, cuando los usuarios pagan al bajar con billetes de altas denominaciones, algunos conductores manifiestan sentirse estresados cuando no tienen forma de devolver el restante del dinero (Cruz Alvarado & Ocacion Prieto, 2022).

Analizar y discutir los resultados mientras se relacionan con los objetivos de la investigación: Con base a la investigación realizada, se desarrolló una aplicación móvil con el objetivo de mejorar la calidad de los usuarios, aplicar tecnologías nuevas, útiles y cómodas para los habitantes de Tunja y la reducción del estrés en los conductores de las empresas de transporte público, usando los pagos QR como medio de pago para así utilizar tecnología contactless y la rapidez de esta en el pago del transporte. Se espera que el aplicativo web se inicie en teléfonos de gama baja en un máximo de tiempo esperado de 15 segundos y en las gamas media y alta 5 segundos, basados en la investigación realizada por Dani Javier Reina Proaño (Proaño, 2019). ViajeExpres busca reducir a la mitad o más de la mitad estos tiempos para mejorar la comodidad de los habitantes de la ciudad de Tunja.

RESULTADOS

El estudio muestra problemas importantes en el sistema de pago del transporte urbano, como problemas de higiene e ineficiencias. Se creó un sistema de pago basado en códigos QR a través de una aplicación móvil como respuesta.

El usuario puede ingresar a la página, para poder ver las ofertas, rutas y mapas de rutas del transporte público de Tunja.

Figura 9

Página de inicio de Viajeexpress

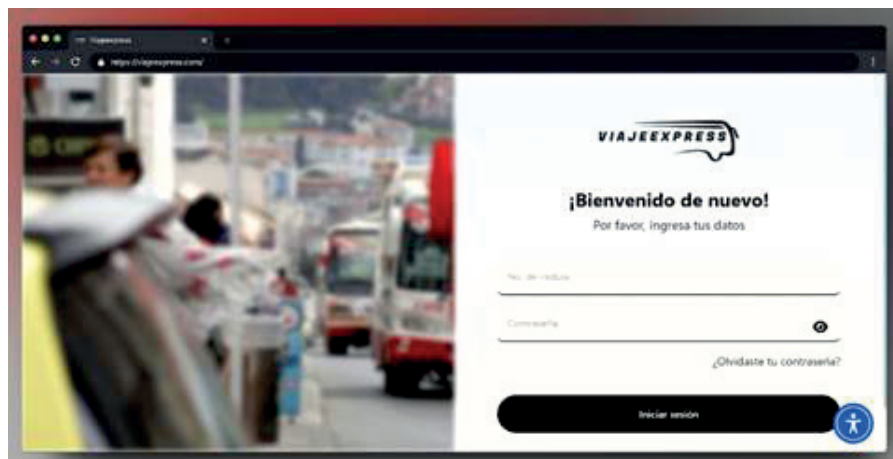


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

El usuario debe registrarse en la página de Viajeexpress e iniciar sesión con la cédula para poder acceder a su cuenta creada. El uso de la cédula se realiza para la seguridad de las personas y evitar la suplantación de identidad.

Figura 10

Página de Inicio de sesión de Viajeexpress.

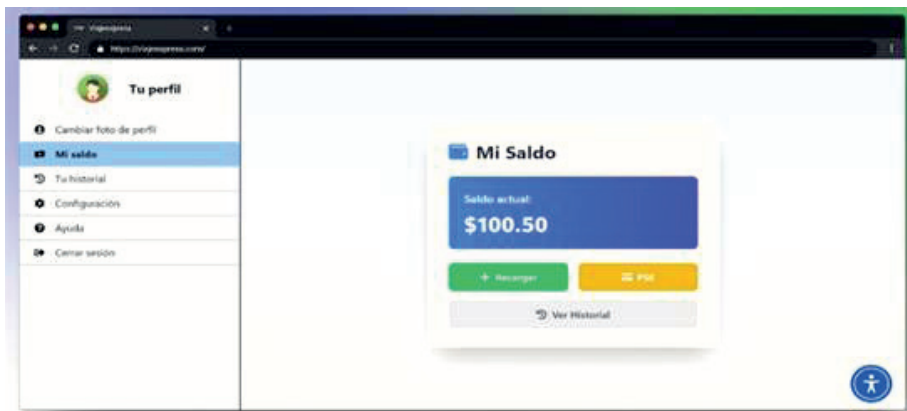


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Al ingresar a tu cuenta, puedes interactuar con diversas secciones de tu perfil, donde podrás recargar tu cuenta por medio de PSE, donde se prestará un medio seguro para tus cuentas, además de la gran cantidad de entidades financieras que trabajan con PSE para brindar una mayor comodidad al usuario.

Figura 11

Página de la billetera y consulta de saldo de Viajeexpress.

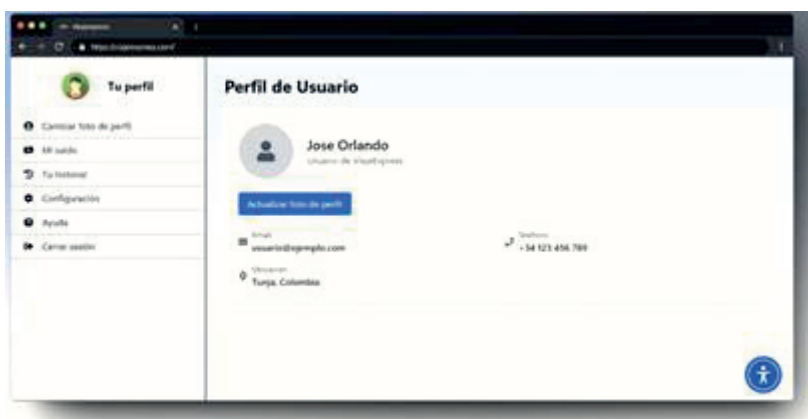


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En tu perfil se almacenará tu información personal, donde se encuentre tu foto de perfil, correo electrónico, número de teléfono y ubicación.

Figura 12

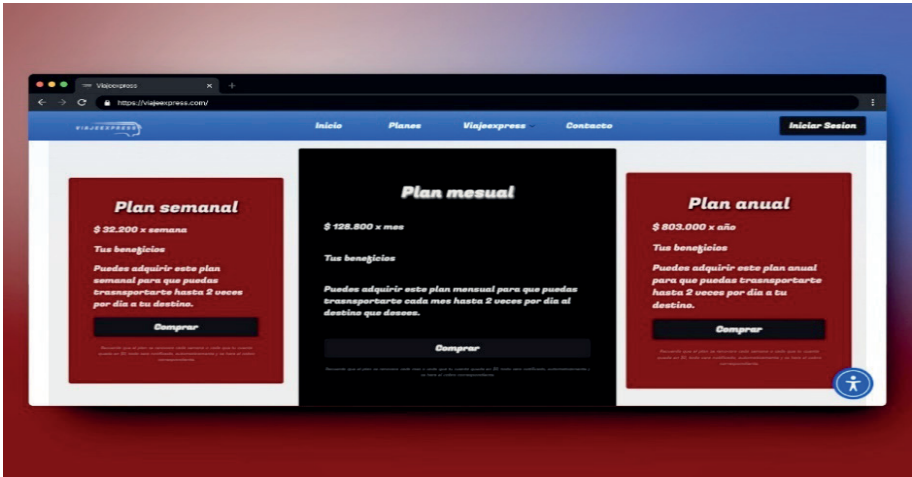
Página de Información del perfil de Viajeexpress.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En la página web, al ingresar podrás ver nuestros diversos tipos de planes adaptados a la necesidad del usuario, esta estará dividida en 3 planes iniciales de tipo mensual, semanal y anual.

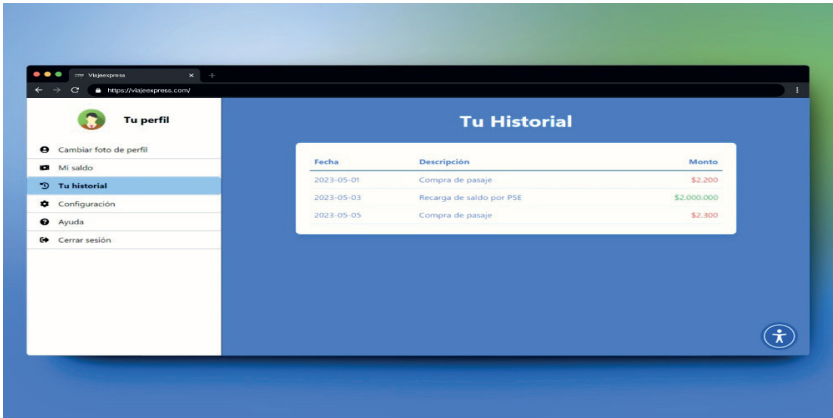
Figura 13
Página de planes de Viajeexpress



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En la página web también se almacenan las transacciones realizadas en la aplicación móvil.

Figura 14
Página del historial de pagos de Viajeexpress

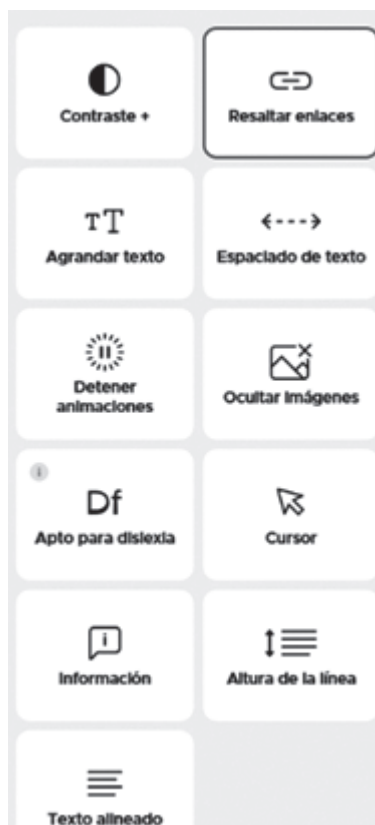


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

A su vez, esta página contiene un menú de accesibilidad para los usuarios, con el fin de ayudar a mejorar su comodidad proporcionando la modificación de la letra, el cursor, ayuda para dislexia, modificación del texto, identificación de enlaces, adaptándose a cualquier tipo de persona y sus condiciones.

Figura 15

Menú de accesibilidad de Viajeexpress.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 16
Icono para el ingreso al menú de accesibilidad.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En el apartado móvil, el usuario al ingresar a su cuenta de la aplicación Viajeexpress se observa inicialmente el código QR junto con el saldo inicial de su cuenta, donde se espera que el escaneo sea de forma inmediata y la transacción dure un máximo de 3 segundos.

Figura 17
Inicio de app móvil Viajeexpress

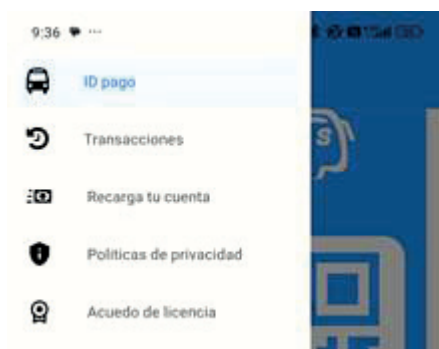


Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

En la parte superior izquierda tiene un menú donde puede encontrar transacciones, recargas, políticas y acuerdos de licencias.

Figura 18

Menú de app móvil Viajeexpress.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Al momento de realizar una transacción, el usuario deberá escribir la cantidad que desea recargar.

Figura 19

Recargo de cuenta de app móvil Viajeexpress.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Para después seleccionar el banco y continuar la transacción por medio del banco a elección.

Figura 20

Selección de banco de app móvil Viajeexpress.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2024).

Este método es prometedor para resolver problemas de higiene, facilitar transacciones rápidas y convenientes, optimizando la gestión financiera de las empresas de transporte, demostrando así ser altamente efectivo para aumentar la productividad, reducir el tiempo y aumentar la satisfacción de los usuarios mediante la implementación de tecnologías como Node.js y TypeScript junto con un diseño UI/UX sólido. Sin embargo, es cierto que la implementación exitosa requiere superar obstáculos técnicos y de aceptación del usuario.

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio muestran una solución innovadora y prometedora a los problemas del transporte urbano, especialmente en cuanto a la higiene y la eficiencia en los pagos. La implementación de un sistema basado en códigos QR mejora la gestión financiera y la satisfacción del usuario, además de abordar estas preocupaciones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el éxito de esta tecnología dependerá de superar obstáculos técnicos y de adopción. Esto plantea importantes preguntas sobre la adaptabilidad de los usuarios y la infraestructura necesaria para su implementación generalizada. Los estudios futuros podrían examinar métodos para facilitar la transición y evaluar los efectos a largo plazo en la eficiencia del transporte urbano y la experiencia del usuario. Se busca la implementación de planes de familiarización de los usuarios con el nuevo método de pago que se quiere implementar. Para garantizar una implementación exitosa, es necesario llevar a cabo una serie de actividades formativas que permitan a los usuarios familiarizarse con el nuevo sistema. Se ha diseñado un proceso estructurado que abarca tanto a los administradores como a los usuarios finales, asegurando una transición fluida y una adopción eficaz del sistema.

Este proceso incluye los siguientes pasos:

Paso 1: Formación especializada para el equipo responsable de la gestión del sistema. Esta capacitación, impartida por los responsables de la prueba piloto, abarcará áreas clave como la administración de personal, gestión de equipos y dispositivos, control de acceso, generación de informes, monitoreo en tiempo real y configuración general del sistema.

Paso 2: Incorporación de la información de los usuarios en la base de datos del nuevo sistema.

Paso 3: Transición del sistema actual a la nueva plataforma basada en tecnología NFC.

Paso 4: Sesiones de formación dirigidas a los usuarios finales, enfocadas en el uso adecuado y eficiente del nuevo sistema.

Paso 5: Implementación de estrategias y actividades que promuevan la correcta utilización del sistema, tanto por parte de los usuarios como de los funcionarios.

Paso 6: Establecimiento de un programa de seguimiento y registro continuo para evaluar el desempeño y la adopción del sistema.

CONCLUSIONES

El sistema de pago con códigos QR ha demostrado ser eficaz para aumentar la productividad, reducir el tiempo y aumentar la satisfacción de los usuarios en sus viajes, con la propuesta basada en tecnologías como Node.js y TypeScript, así como con un gran diseño UI/UX y buenas prácticas de código limpio.

El sistema de pago con códigos QR facilita los pagos, mejora la calidad del servicio y mejora la relación entre transportistas y pasajeros.

REFERENCIAS

- Alam, S. S., Ahmed, S., Kokash, H. A., Mahmud, S., & Sharnali, S. Z. (2024). Utility and hedonic perception: Customers' intention towards using QR codes in mobile payment of Generation Y and Generation Z. *Electronic Commerce Research and Applications*, 13, 101389. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2024.101389>
- Arango-Arango, C., Betancourt-García, Y., & Restrepo-Bernal, M. (2022). Costos del comercio en el procesamiento de los pagos en Colombia. *Coyuntura Económica*, 52(19), 107-125. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4355/Co_Eco_Diciembre_2022_Arango_Betancourt_y_Restrepo.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Balsero Meneses, A. J., & Vargas García, C. G. (2019). Diseño e implementación de un prototipo para el control de acceso en la sede de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/3430>

- Briceño Chaparro, A. D., & Pardo Luis, J. N. (2023). Diagnóstico de movilidad sostenible en ciudades. Universidad Santo Tomás Seccional Tunja. [URL no disponible]
- Cabrera, F., Mizrahi, N., Moreno, J., & Zabaleta, P. (2023). La rápida evolución de los medios de pagos en Latinoamérica. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/locations/south-america/latam/hispanoamerica-en-potencia/la-rapida-evolucion-de-los-medios-de-pagos-en-latinoamerica/es-CL>
- Cervera, M. A. (2023). El transporte público de pasajeros en Colombia: ¿Es un ámbito del derecho de la competencia o un servicio público? Universidad del Rosario. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/da8cc213-451f-4406-89f7-e8d-a80c8ce30/content>
- Corredor, V. D. (2019). Análisis crítico del sistema integrado de transporte público de la ciudad de Chihuahua (México) a partir de los modos de pago. Universidad Santo Tomás. <https://repository.urosario.edu.co/handle/11634/15632>
- Cruz Alvarado, G., & Ocacion Prieto, F. R. (2022). Factores que estresan a conductores de transporte público colectivo urbano en Tunja. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/9219>
- Delgado Olivera, Lisdania de la Caridad, & Díaz Alonso, Lexys Manuel. (2021). Modelos de Desarrollo de Software. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 15(1), 37-51. Epub 31 de marzo de 2021. Recuperado en 28 de septiembre de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992021000100037&lng=es&tlng=es.
- Ebubedike, A. H., Mohammed, T. A., Nellikunnel, S., & Teck, T. S. (2022). Factors Influencing Consumer's Behavioural Intention towards the Adoption of Mobile Payment in Kuala Lumpur. *International Journal of Professional Business Review*, 7(6), e0584. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2022.v7i6.e584>
- Eren, B.A. QR code m-payment from a customer experience perspective. *J Financ Serv Mark* **29**, 106–121 (2024). <https://doi.org/10.1057/s41264-022-00186-5>
- Fajardo Chavarro, F. A. y Berbeo Cuellar, N. (2023). El impacto de las empresas Fintech en el mercado financiero colombiano: tenden-

- cias, desafíos y oportunidades. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/50847>
- Ferreres, G.C. (2020). Desarrollo e implementación de una solución tecnológica para la gestión del transporte público en Cataluña. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Gomez Sierra, Cesar Jose. (2021). Design and development of a PWA - Progressive Web Application, to consult the diary and programming of a technological event. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1154. 012047. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1154/1/012047>
- Gutiérrez Builes, L. F. y Pamplona Sánchez, J. C. (2022). Conciliación bancaria de las transacciones a través de códigos QR en el sector de estaciones de servicios. [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Minuto de dios]. Repositorio institucional UNIMINUTO. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/17001>
- Hamzah, M.I. Fear of COVID-19 disease and QR-based mobile payment adoption: a protection motivation perspective. *J Financ Serv Mark* **29**, 946–963 (2024). <https://doi.org/10.1057/s41264-023-00246-4>
- Hossain, S., Zhou, X., & Rahman, M. F. (2018). Examining the impact of qr codes on purchase intention and customer satisfaction on the basis of perceived flow. *International Journal of Engineering Business Management*, 10, 184797901881232. <https://doi.org/10.1177/1847979018812323>
- Ye, H., Xu, T. Research on double camouflage encryption mechanism of QR code based on UAV landing scenario. *Sci Rep* **13**, 21786 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49104-2>
- Vinasco Martínez, Diana, La ciudad de los buses de colores: empresas de transporte público, planes de desarrollo y crecimiento urbano en Cali, 1969-1993 (City of Colored Buses: Public Transport Companies, Development Plans and Urban Growth in Cali, 1969-1993) (July 1, 2018). Vinasco Martínez, D. (2018). La ciudad de los buses de colores: empresas de transporte público, planes de desarrollo y crecimiento urbano en Cali, 1969-1993. *tiempo&economía*, 5(2), 155-177, DOI/10.21789/24222704.1344, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3225165>
- Proaño, D.J. (2019). Prototipo de cobro de tarifa para acceso a anden de paradas de buses con dinero electrónico. Escuela Politécnica Nacional, 133. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17276>

- Ramírez Londoño,A.J.& Perea Mosquera,L.N.(2021). La tecnología pilar fundamental en Colombia para el crecimiento económico. Universidad Libre,17. <https://hdl.handle.net/10901/24032>.
- Ricaurte Rueda,N.& Santamaría Ramírez,M.A.(2022). Los efectos de los pagos electrónicos en la población no bancarizada en Colombia respecto al acceso a bienes y servicios. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/9083>
- Rojas Gamba, Néstor Iván, Fonseca Salamanca, Liby Angélica, Pérez Rueda, Sandra Liliana, & Blanco Suarez, Miguel Alfonso. (2022). Modelación de Crecimiento Urbano: Tunja 2017 - 2035. *Bitácora Urbano Territorial*, 32(1), 177-190. Epub July 11, 2022.<https://doi.org/10.15446/bitacora.v32n1.87758>
- Trillos-Pacheco,J.J.(2017). La construcción del sujeto a partir de iconografías en buses urbanos. *Opción*,33(83),137-167. <https://www.redalyc.org/journal/310/31053772005/html/>
- Wan,Z.(2022). Aplicación, uso y perspectivas de desarrollo de los códigos QR en España.Universitat Politècnica de València,53. <http://hdl.handle.net/10251/189174>



Este libro se terminó de imprimir en el mes de marzo
de 2026 en los talleres de Editorial Jotamar S.A.S.
Tunja, Boyacá, Colombia.

Este libro reúne investigaciones que integran la inteligencia artificial, la ingeniería de software y la transformación digital desde una perspectiva sostenible. A través de un enfoque interdisciplinario, aborda temas como ética tecnológica, arquitecturas modernas y el impacto de las tecnologías emergentes en la sociedad.

Incluye estudios aplicados que proponen soluciones a problemáticas reales mediante herramientas como IA, blockchain, big data e Internet de las Cosas, además de analizar tendencias como microservicios, gamificación y gestión de riesgos.

Una obra que articula teoría y práctica para promover un desarrollo tecnológico responsable en el contexto actual.