

9

VOLUMEN
Núm. 1

ENERO - JUNIO 2025

ECUADOR

AUTORIDADES INSTITUCIONALES (INSTITUTIONAL AUTHORITIES)

Rector

Santiago Quiroz Fernández, Ph. D.

Vicerrectora Académica

Mara Molina de Lozano, Ph. D.

Director de Investigación

Alex Dueñas Rivadeneira, Ph. D.

Decano de la Facultad de Ciencias Informáticas

Jorge Veloz Zambrano, Mg.

CONSEJO EDITORIAL (EDITORIAL BOARD)

Director / Editor en Jefe

(Editor in Chief)



Jorge Párraga Álava, Ph.D.



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

EDITORES (Editors)



Leticia Vaca Cárdenas, Ph. D.



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Lucia Rivadeneira Barreiro, Ph. D.



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Leonardo Chancay García, Ph. D



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador



Maricela Pinargote Ortega, Ph.D



Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

CONSEJO DE REVISORES (REVIEWERS BOARD)

 **Santiago Acurio Maldonado, Ph.D.**
 Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Sede Ambato

 **Walter Orozco Iguasnia, Ms.C.**
 Universidad Estatal Península de Santa Elena

 **Diego Terán Pineda, Ph.D.**
 Universidad Técnica de Manabí

 **Wilmer Moreira Sánchez, Ms. C.**
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 **Enrique Macias Arias, Ms. C.**
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 **José Puche, Ph.D.**
 INDRA

 **Gabriel Morejón López**
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 **Lorena Bowen Mendoza, Ph.D.**
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 **Nelson Salgado Reyes, Ph.D.**
 Pontificia Universidad Católica de Ecuador,
Ecuador

 **Santiago Ruiz Sánchez, Ph.D.**
 Universidad Politécnica de Valencia,
España

CONSEJO CIENTÍFICO (ADVISORY BOARD)

 **Felipe Bello Robles, Ph. D.**
 Universidad de Santiago de Chile, Chile

 **Manuel Villalobos Cid, Ph. D.**
 Universidad de Santiago de Chile, Chile

 **Paulo Freitas de Oliveira Novais, Ph. D.**
 Univerddade do Minho, Portugal

 **Dalila Alves Durães, Ph. D.**
 Univerddade do Minho, Portugal

 **Edith Josefina Liccioni, Ph. D.**
 Universidad de Chimborazo, Ecuador

 **Cristóbal Samaniego Alvarado, Ph. D.**
 Barcelona Supercomputing Center, España

EQUIPO TÉCNICO (TECHNICAL TEAM)

Webmaster OJS
 **Ing. Víctor López Tuárez**
Instituto de Investigación,
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Diseñador, Diagramación y Portada
 **Ing. Irving Cevallos Bumbila, Mg.**
Dirección de Comunicaciones,
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Informática y Sistemas:
Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones
Volumen 9, Número 1
Enero – Junio 2025
e-ISSN: 2550-6730

Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones (ISRTIC) es una publicación electrónica semestral de carácter científico, que edita la Facultad de Ciencias Informáticas de la Universidad Técnica de Manabí, orientada a la socialización de resultados de investigación, a través de artículos novedosos y de alto rigor científico, en las áreas asociadas a las tecnologías de la información y las comunicaciones. ISRTIC no efectúa cargos por concepto de costos de procesamiento, envío o publicación de artículos.

El proceso editorial de ISRTIC se gestiona a través del



ISRTIC es una publicación de acceso abierto con licencia



Los artículos de ISRTIC cuentan con código de identificación de objeto digital (DOI)



Los autores de ISRTIC usan un Identificador Abierto de Investigador y Colaborador (ORCID)



ISRTIC utiliza el sistema antiplagio



Las revista está indizada en



Los artículos de la presente edición se pueden obtener en
<https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1>

EDITORIAL

Lectoras/es,

Me complace presentar el Volumen 9, Número 1 (Enero-Junio 2025) de **Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Información y Computación (ISRTIC)**. Esta edición refleja el dinamismo y la relevancia actual de las tecnologías de información en diversos ámbitos de nuestra sociedad.

El trabajo de *Cynthia Carolina Mena Mena, Anthonny Miguel Castillo Duchi, Jorge Eduardo Fernández Acevedo y Cristhy Nataly Jiménez Granizo* nos transporta al aula moderna, donde el aprendizaje del ciclo celular se transforma mediante una aplicación diseñada con rigurosidad pedagógica y tecnológica. Mientras tanto, *Jeidy Katherine Reyes Zambrano y María Genoveva Moreira Santos* nos demuestran cómo la visión por computadora está revolucionando el monitoreo de la salud animal en entornos agroproductivos.

En el ámbito del desarrollo web, *Dustin Adrian Cabrera Lavayen, Ricardo Josue Cabrera Calderón, Joofre Antonio Honores Tapia y John Patricio Orellana Preciado* realizan una contribución significativa al analizar herramientas de Inteligencia Artificial aplicadas a frameworks modernos. Como complemento a esta visión, *Freddy Aníbal Jumbo Castillo, Johnny Paul Novillo Vicuña, Camilly Yuliana Pacheco Ordoñez y Joselyn Katiuska Franco Avila* nos alertan sobre los sesgos en sistemas de inteligencia artificial, un tema de crucial importancia ética.

Abraham Moises Echeverría Salazar, Mariuxi Paola Zea Ordoñez y Oscar Efrén Cárdenas Villavicencio comparten experiencias valiosas sobre implementación de Fog Computing, mientras que *Jorge Eduardo Echeverría Hidrovo y Víctor Joel Pinargote Bravo* analizan la accesibilidad digital en portales gubernamentales, aspecto fundamental para la inclusión tecnológica.

En el campo de la seguridad, *Kevin Alexander Mendoza Campoverde, Javier Valentin Hurtado Gonzalez, Rodrigo Fernando Morocho Román y Wilmer Braulio Rivas Asanza* presentan innovaciones para detección de acoso mediante Inteligencia Artificial, y *Juan Andres Jaramillo Barreiro, Joseph Camilo Reyes Sacaquirin y Nancy Magaly Loja Mora* completan este volumen con su análisis sobre ciberseguridad en plataformas web.

Agradezco profundamente a cada autor por confiar en nuestra revista para difundir su trabajo, a nuestro equipo editorial por su meticulosa labor de revisión, y especialmente a ustedes, nuestros lectores, por ser parte activa de esta comunidad académica.

Les invito a explorar estos contenidos, encontrando en ellos no solo conocimiento técnico, sino también inspiración para seguir innovando desde las tecnologías de información. Porque la tecnología, cuando se desarrolla con visión humana, se convierte en poderosa aliada para el progreso social.

Atentamente,

Jorge Párraga Álava, Ph.D.

Editor en Jefe

Informática y Sistemas:

Revista de Tecnologías de la Información y Computación

ÍNDICE

Cynthia Carolina Mena Mena, Anthonny Miguel Castillo Duchi,
Jorge Eduardo Fernández Acevedo, Cristhy Nataly Jiménez
Granizo

1-15

Diseño y Usabilidad de una App para la enseñanza de las fases del ciclo celular

Design and Usability of an App for Teaching the Phases of the Cell Cycle

Jeidy Katherine Reyes Zambrano, María Genoveva Moreira
Santos

16-29

Visión por Computadora en el ámbito de control productivo y sanidad en
Animales de Granja

Computer Vision in the field of productive control and health in Farm Animals

Dustin Adrian Cabrera Lavayen, Ricardo Josue Cabrera Calderón,
Joofre Antonio Honores Tapia, John Patricio Orellana Preciado

30-40

Estudio Comparativo de Herramientas de Inteligencia Artificial y su Incidencia en
el Desarrollo Web: Un Enfoque Basado en Angular y Node.js

Comparative Study of Artificial Intelligence Tools and Their Impact on Web Development: An Approach Based on Angular and Node.js

Freddy Aníbal Jumbo Castillo, Johnny Paul Novillo Vícuña,
Camilly Yuliana Pacheco Ordoñez, Joselyn Katiuska Franco Avila

41-51

Impacto de los sesgos en software informático basado en Inteligencia Artificial

Impact of biases on AI-based computer software

Abraham Moises Echeverría Salazar, Mariuxi Paola Zea Ordoñez,
Oscar Efrén Cárdenas Villavicencio

52-69

Mejores prácticas para la implementación de Fog Computing: Análisis de casos de
éxito

Best Practices for Fog Computing Implementation: Analysis of Success Cases

70-81

Jorge Eduardo Echeverría Hidrovo, Víctor Joel Pinargote Bravo

Tendencias en la Accesibilidad y Usabilidad de Interfaces en los Portales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Manabí

Trends in the Accessibility and Usability of Interfaces in the Portals of the Decentralized Autonomous Governments of Manabí

82-92

Kevin Alexander Mendoza Campoverde, Javier Valentin Hurtado Gonzalez, Rodrigo Fernando Morocho Román, Wilmer Braulio Rivas Asanza

Análisis de Sentimiento y Clasificación de Texto para la Detección Automática de Acosos y Amenazas Mediante Inteligencia Artificial

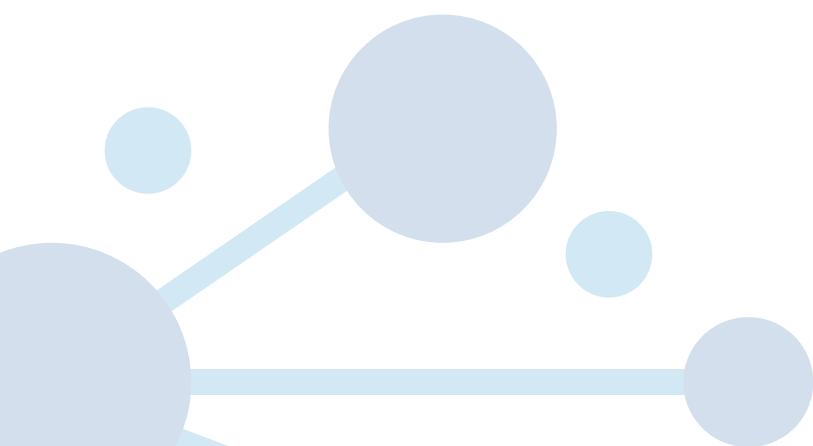
Sentiment Analysis and Text Classification for Automatic Detection of Harassment and Threats Using Artificial Intelligence

93-103

Juan Andres Jaramillo Barreiro, Joseph Camilo Reyes Sacaquirin, Nancy Magaly Loja Mora

Ciberseguridad en sitios web: auditoría de seguridad de una plataforma en línea

Website cybersecurity: security audit of an online platform





Diseño y Usabilidad de una App para la enseñanza de las fases del ciclo celular

Design and Usability of an App for Teaching the Phases of the Cell Cycle

Autores

*Cynthia Carolina Mena Mena

✉ cynthia.mena@unach.edu.ec

Anthony Miguel Castillo Duchi

✉ anthony.castillo@unach.edu.ec

Jorge Eduardo Fernández Acevedo

✉ anthony.castillo@unach.edu.ec

Cristhy Nataly Jiménez Granizo

✉ cjimenez@unach.edu.ec

Universidad Nacional de Chimborazo,
Facultad de Ciencias de la Educación Humanas
y Tecnología, Riobamba, Chimborazo,
Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Mena Mena, C.C., Castillo Duchi, A. M.,
Fernández Acevedo, J.E. & Jiménez Granizo,
C. N. (2025). Diseño y Usabilidad de una
App para la enseñanza de las fases del ciclo
celular. *Informática y Sistemas* 9(1), pp. 1-15.
<https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7014>

Enviado: 20/09/2024

Aceptado: 30/12/2024

Publicado: 02/01/2025

Resumen

En el contexto actual de la educación, las aplicaciones móviles han emergido como herramientas innovadoras que transforman la enseñanza y el aprendizaje. Esta investigación se centra en el diseño y la usabilidad de una aplicación móvil destinada a la enseñanza de las fases del ciclo celular mediante el uso de realidad aumentada (R.A). La hipótesis que guía este estudio plantea que una aplicación diseñada con un enfoque centrado en el usuario mejorará la comprensión y el interés de los estudiantes en temas complejos como el ciclo celular. Para alcanzar este objetivo, se implementó una metodología de enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos que incluyeron encuestas y pruebas de usabilidad. Los resultados indican que la aplicación es percibida positivamente por los estudiantes, lo que sugiere que el diseño centrado en el usuario es efectivo para facilitar el aprendizaje. Sin embargo, también se identificaron áreas de mejora que podrían optimizar aún más la experiencia del usuario.

Palabras clave: aplicaciones móviles, realidad aumentada, diseño centrado en el usuario, ciclo celular, usabilidad.

Abstract

In the current educational context, mobile applications have emerged as innovative tools that transform teaching and learning. This research focuses on the design and usability of a mobile application aimed at teaching the phases of the cell cycle through the use of augmented reality (A.R). The hypothesis guiding this study posits that an application designed with a user-centered approach will enhance students' understanding and interest in complex topics such as the cell cycle. To achieve this objective, a mixed-methods methodology was implemented, combining quantitative and qualitative methods, including surveys and usability tests. The results indicate that the application is positively perceived by students, suggesting that the user-centered design is effective in facilitating learning. However, areas for improvement were also identified, which could further optimize the user experience.

Keywords: mobile applications, augmented reality, user-centered design, cell cycle, usability.



1. Introducción

La integración de tecnologías emergentes, como la realidad aumentada (RA), en el ámbito educativo ha demostrado ser una herramienta poderosa para mejorar el proceso de aprendizaje. En particular, la enseñanza de conceptos complejos en ciencias, como las fases del ciclo celular, puede beneficiarse enormemente de estas innovaciones tecnológicas. Diversos estudios han señalado que la RA no solo facilita la comprensión de conceptos abstractos, sino que también fomenta un aprendizaje más interactivo y autónomo. La combinación de visualizaciones tridimensionales y la interacción directa con los contenidos, características esenciales de las aplicaciones educativas basadas en RA, proporciona una experiencia de aprendizaje inmersiva que mejora la retención y comprensión de los estudiantes (López et al., 2022; Martínez & Torres, 2021).

Un aspecto clave para el éxito de estas herramientas tecnológicas es el diseño centrado en el usuario. Este enfoque busca crear aplicaciones intuitivas y fáciles de usar, lo que mejora la accesibilidad y reduce la carga cognitiva de los estudiantes (García et al., 2019; Nielsen, 1994). La usabilidad se convierte en un factor crucial cuando se trata de aplicaciones móviles educativas, ya que un diseño adecuado puede hacer que los estudiantes se concentren más en el contenido y menos en los problemas de navegación (Benyon, 2005; Nielsen, 1994). Según Fernández y Gómez (2021), las herramientas digitales interactivas permiten a los estudiantes asumir un rol más activo en su aprendizaje, favoreciendo la motivación y el aprendizaje autónomo.

La presente investigación se centra en evaluar la usabilidad y efectividad de una aplicación móvil diseñada para enseñar las fases del ciclo celular mediante realidad aumentada. A través de un cuestionario y una hoja de registro aplicados a estudiantes de tercer semestre de la carrera de Pedagogía en Ciencias Experimentales Informática, se busca comprender cómo la integración de RA en el aula impacta en la motivación, comprensión y retención de los conceptos biológicos.

Los resultados obtenidos no solo permitirán evaluar la efectividad de esta herramienta en particular, sino que también aportarán recomendaciones sobre el diseño de futuras aplicaciones educativas basadas en RA, con el fin de optimizar su uso en la enseñanza de ciencias.

Este estudio se complementa con la literatura existente sobre el impacto de la RA en la educación. Investigaciones previas destacan la capacidad de la RA para facilitar la visualización de conceptos abstractos y mejorar la participación de los estudiantes en actividades de aprendizaje activo (López et al., 2022; Martínez & Torres, 2021). Además, el enfoque en el diseño centrado en el usuario y la usabilidad es esencial

para garantizar que las aplicaciones sean efectivas y fáciles de utilizar, lo que refuerza la importancia de crear experiencias educativas que no solo sean tecnológicamente avanzadas, sino también accesibles y eficaces para los estudiantes.

1.1 Antecedentes

El diseño y la usabilidad de una aplicación educativa centrada en la enseñanza de las fases del ciclo celular requieren una revisión de antecedentes sobre proyectos que han empleado tecnología educativa, particularmente aplicaciones de realidad aumentada, para facilitar la comprensión de temas complejos de biología. Según López et al. (2022), “el aprendizaje con herramientas tecnológicas de realidad aumentada potencia la comprensión de conceptos abstractos, como los relativos a la biología celular” (p. 44). De manera similar, Fernández y Gómez (2021) subrayan que las herramientas digitales con elementos interactivos mejoran la autonomía al permitir a los estudiantes explorar conceptos a su propio ritmo y recibir retroalimentación inmediata.

Por otra parte, Ramírez et al. (2022) afirman que “las aplicaciones educativas motivan a los estudiantes al combinar contenidos académicos con actividades dinámicas, creando un entorno más atractivo y efectivo para el aprendizaje” (p. 89). Este enfoque, además de ser innovador, permite una experiencia inmersiva que resulta esencial para captar la atención en temas que requieren visualización detallada, como el ciclo celular. En este sentido, la combinación de tecnología interactiva, realidad aumentada y diseño educativo adecuado ofrece una oportunidad significativa para transformar la enseñanza de conceptos biológicos complejos, facilitando su aprendizaje de manera más accesible y efectiva.

Proyectos como Cell-Ed y Cytowalk, que destacan en el ámbito educativo por su énfasis en la enseñanza interactiva de la biología celular. Cell-Ed, por ejemplo, combina actividades didácticas con simulaciones tridimensionales, mientras que Cytowalk emplea recorridos visuales que permiten explorar la estructura celular desde una perspectiva microscópica.

Estas aplicaciones no están específicamente diseñadas para abordar las fases del ciclo celular en profundidad ni para satisfacer las necesidades específicas de los adolescentes.

Aunque estos proyectos evidencian el potencial de la tecnología, “aún existe una brecha en aplicaciones específicas que cubran en profundidad las fases del ciclo celular con un enfoque centrado en adolescentes” (Martínez y Torres, 2021, p. 67).

Además, investigaciones más recientes, como las de Jiménez y Castro (2023), han destacado que el desarrollo de contenido adaptado a contextos educativos específicos es clave para maximizar la efectividad de estas herramientas.

La propuesta Diseño y Usabilidad de una App para la Enseñanza de las Fases del Ciclo Celular se diferencia al integrar un enfoque pedagógico adaptado a adolescentes de 14 a 15 años. Esta app se centra en representar de manera interactiva y accesible las etapas del ciclo celular, combinando visualizaciones tridimensionales detalladas con ejercicios personalizados que promueven la autonomía en el aprendizaje.

El crecimiento en el uso de aplicaciones de realidad aumentada también plantea desafíos. La literatura señala limitaciones en la personalización y adaptabilidad de estas herramientas a diversas edades y niveles de comprensión. En este contexto, un Diseño Centrado en el Usuario (U.C.D) es crucial para que los estudiantes puedan navegar intuitivamente por la aplicación sin requerir instrucciones complejas (Sánchez, 2020, p. 51). Investigaciones de García et al. (2019) demuestran que “los estudiantes en edades tempranas de la adolescencia responden favorablemente a entornos visuales interactivos que simplifican conceptos complicados” (p. 38), reforzando la necesidad de interfaces accesibles y adaptadas.

En línea con esta perspectiva, un estudio reciente de Rivera et al. (2022) enfatiza que las aplicaciones con elementos interactivos, como simulaciones dinámicas y retroalimentación inmediata, mejoran significativamente la retención de conocimientos. De manera similar, Torres y Pérez (2023) destacan que la integración de tecnologías como la realidad aumentada permite a los estudiantes experimentar los procesos celulares de forma inmersiva, lo que resulta particularmente útil para abordar temas abstractos. Estas investigaciones subrayan la importancia de desarrollar una herramienta como la propuesta, que combina diseño intuitivo, contenido especializado y un enfoque inmersivo adaptado a adolescentes.

1.2 Principios Pedagógicos en el Diseño de Aplicaciones

El diseño de aplicaciones educativas debe fundamentarse en principios pedagógicos que promuevan un aprendizaje accesible y efectivo, facilitando el procesamiento de información y la retención de conocimientos. Entre estos principios, destaca la teoría de la carga cognitiva, la cual establece que el aprendizaje se optimiza cuando la carga mental es adecuada a los recursos y herramientas presentados (Sweller, 1988). Esto se logra mediante interfaces intuitivas y organizadas que permiten a los estudiantes enfocarse en el contenido esencial sin distracciones o sobrecarga de información. En una aplicación de realidad aumentada orientada a la enseñanza de las fases del ciclo celular, estos principios resultan fundamentales para que los estudiantes comprendan los conceptos complejos de forma efectiva y significativa.

En palabras de Mendoza y Ruiz (2018), “la incorporación de tecnologías móviles en la educación de ciencias incrementa el rendimiento en al menos un 20% en estudiantes de nivel secundario” (p. 142). Estudios más recientes, como el de Torres y Álvarez (2021), indican que el uso de herramientas digitales interactivas puede incrementar la motivación y el compromiso de los estudiantes en un 35%, especialmente en temas abstractos como los relacionados con la biología

celular. Igualmente, Ramírez et al. (2022) subrayan que “las aplicaciones educativas de realidad aumentada no solo mejoran el aprendizaje de conceptos teóricos, sino que también desarrollan habilidades prácticas mediante la simulación de procesos complejos” (p. 87).

A pesar de estos avances, persiste la necesidad de desarrollar herramientas que vayan más allá del aprendizaje teórico, ofreciendo a los adolescentes una interacción más directa y visual con procesos biológicos fundamentales, como el ciclo celular. Este enfoque, como lo sugiere Morales y Castro (2023), es clave para abordar el desinterés que algunos estudiantes muestran hacia las ciencias, ya que permite experimentar los procesos en un entorno visual e interactivo que facilita la comprensión.

1.3 Diseño Centrado en el Usuario (DCU)

El enfoque centrado en el usuario (DCU), otro principio clave, potencia la accesibilidad y el aprendizaje personalizado, permitiendo adaptar el diseño de la aplicación a las necesidades específicas de los estudiantes. Moreno y Mayer (2007) subrayan la importancia de presentar el contenido educativo de una manera que facilite la comprensión, sobre todo en áreas científicas complejas como la biología celular. Según Benyon (2005), el DCU requiere una comprensión profunda de los usuarios y su contexto, lo que permite crear interfaces que respondan directamente a las habilidades y características cognitivas de los estudiantes, fomentando un aprendizaje más efectivo y accesible.

Recientes investigaciones, como las de Pérez y Ramírez (2021), refuerzan este enfoque al destacar que “el diseño de aplicaciones centradas en el usuario no solo mejora la usabilidad, sino que también fomenta la retención de conocimientos en un 40% más que las herramientas educativas convencionales” (p. 56). De manera similar, López y García (2023) señalan que la inclusión de elementos personalizables en aplicaciones educativas permite atender las diversas necesidades cognitivas y estilos de aprendizaje, aumentando la efectividad de las estrategias pedagógicas digitales.

1.4 Usabilidad

La usabilidad y los elementos de diseño gráfico, como el uso adecuado de color, tipografía y iconografía también juegan un papel central en estos principios pedagógicos, ya que contribuyen a que la interacción con la aplicación sea fluida y motivadora. En esta línea, Nielsen (1994) señala que las pruebas de usabilidad con usuarios reales son esenciales para identificar y corregir problemas antes de la implementación final, asegurando que el producto cumpla con sus objetivos educativos.

Estudios recientes de González et al. (2020) destacan que “los usuarios prefieren aplicaciones educativas con interfaces limpias y minimalistas, donde el diseño gráfico apoya la comprensión sin generar distracciones visuales” (p. 45). Por otro lado, investigaciones de Sánchez y Torres (2022) identifican que la combinación de colores contrastantes y tipografías legibles en pantallas móviles mejora significativamente la accesibilidad,





especialmente en estudiantes con dificultades visuales o de aprendizaje. Lidwell (2010) y Bringhurst (2002) ya habían señalado estas premisas, pero trabajos recientes como el de Hernández y Ramírez (2024) reafirman que la personalización de los elementos gráficos puede incrementar hasta en un 30% la motivación del usuario. Las aplicaciones educativas modernas deben integrar principios de carga cognitiva, diseño centrado en el usuario y usabilidad para maximizar su efectividad. La literatura reciente destaca que estos enfoques no solo mejoran la interacción, sino que también potencian el aprendizaje autónomo y significativo, elementos clave en la enseñanza de temas complejos como el ciclo celular.

2. Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), ubicada en la ciudad de Riobamba, Ecuador. Este estudio tuvo una duración de tres meses, durante los cuales se implementaron y evaluaron aspectos de usabilidad de una aplicación de Realidad Aumentada (RA) diseñada específicamente para la enseñanza de las fases del ciclo celular en estudiantes universitarios. La población estuvo compuesta por 123 estudiantes de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales, mención Informática, de los cuales se seleccionó una muestra intencional de 21 estudiantes de tercer semestre. *(El tamaño de la muestra se justificó bajo criterios prácticos y metodológicos. Dado que el estudio implicaba sesiones supervisadas individuales para evaluar la interacción con la aplicación)*, se optó por un grupo manejable que permitiera un análisis en profundidad y la recolección de datos cualitativos y cuantitativos sin comprometer la calidad del proceso.

Los estudiantes de tercer semestre fueron seleccionados porque poseían un nivel intermedio de conocimientos en informática y pedagogía, lo cual les permitió interactuar adecuadamente con la tecnología empleada y proporcionar retroalimentación relevante.

2.1 Validación de los instrumentos

Los instrumentos utilizados incluyeron encuestas estructuradas y pruebas de usabilidad, validados previamente mediante un proceso en dos fases. En primer lugar, se realizó una revisión por expertos en tecnología educativa y diseño de interfaces, quienes evaluaron la pertinencia, claridad y coherencia de las preguntas en relación con los objetivos de la investigación. Posteriormente, se llevó a cabo un piloto con cinco estudiantes externos a la muestra principal, lo que permitió identificar y corregir posibles ambigüedades o dificultades en la interpretación de los ítems.

Este procedimiento aseguró que los instrumentos fueran confiables y válidos para recolectar datos relevantes sobre la experiencia del usuario y la efectividad de la aplicación.

2.2 Diseño de encuestas y pruebas de usabilidad

Las encuestas fueron diseñadas con una combinación de preguntas cerradas, utilizando escalas de Likert para medir dimensiones como la accesibilidad, facilidad de uso y satisfacción general, y preguntas abiertas para capturar observaciones cualitativas y recomendaciones de los participantes. Por su parte, las pruebas de usabilidad incluyeron tareas específicas que los estudiantes debían realizar con la aplicación, como identificar fases del ciclo celular mediante interacciones con modelos 3D o acceder a información detallada desde los menús. Estas tareas permitieron evaluar tanto el rendimiento como la percepción subjetiva de la utilidad y funcionalidad de la aplicación.

2.3 Influencia del diseño centrado en el usuario

Este enfoque permitió adaptar la interfaz a las necesidades y características cognitivas de los estudiantes, con elementos como botones grandes, una navegación intuitiva y un diseño visual atractivo pero minimalista. Además, la posibilidad de personalizar ciertos aspectos de la aplicación, como el idioma y el nivel de detalle en las explicaciones, contribuyó a que los usuarios percibieran la herramienta como accesible y adaptada a sus necesidades educativas.

2.4 Aspectos más efectivos para facilitar el aprendizaje

Los participantes identificaron varios aspectos de la aplicación como especialmente efectivos para facilitar el aprendizaje. Entre ellos, destacaron la visualización interactiva en 3D de las fases del ciclo celular, que permitió comprender procesos complejos mediante representaciones dinámicas e inmersivas. Asimismo, la integración de cuestionarios en tiempo real después de cada módulo reforzó el aprendizaje al permitirles aplicar los conceptos adquiridos de manera inmediata. El diseño gráfico, con colores contrastantes y tipografías legibles, fue considerado un elemento que facilitó la concentración y redujo la sobrecarga cognitiva, mejorando la experiencia general del usuario.

2.5 Fases de desarrollo

El desarrollo de la aplicación móvil para el aprendizaje de las fases del ciclo celular mediante realidad aumentada se basó en una metodología de diseño centrada en el usuario (User-Centered Design, UCD), dividiéndose en cuatro fases técnicas:

2.5.1 Fase de investigación:

Se realizaron encuestas y hojas de registro de actividades supervisadas a estudiantes universitarios para identificar sus necesidades y obstáculos en el aprendizaje del ciclo celular, adoptando los principios de usabilidad descritos por Nielsen (1994), que destacan la importancia de comprender el contexto y las expectativas de los usuarios para asegurar una experiencia óptima. Esta fase permitió recoger datos cualitativos y cuantitativos, los cuales guiaron el diseño de una aplicación que se adapta al perfil cognitivo del usuario objetivo.



2.5.2 Fase de diseño y desarrollo:

Se elaboraron prototipos detallados de la interfaz, incluyendo mapas de navegación, wireframes, y se definieron los elementos interactivos basados en principios de accesibilidad y carga cognitiva. Estos principios son fundamentales para evitar la sobrecarga de información y mejorar la experiencia del usuario, tal como se destaca en investigaciones recientes (Sweller et al., 2021). Utilizando Blender, se diseñaron modelos 3D de las fases del ciclo celular, asegurando precisión científica y atractivo visual, elementos clave para facilitar la comprensión de conceptos abstractos en biología (Fernández et al., 2022). Unity se empleó como plataforma para integrar estos modelos en un entorno de realidad aumentada, permitiendo que los estudiantes interactuaran con representaciones tridimensionales inmersivas. Los íconos seleccionados de FlatIcon fueron utilizados estratégicamente para representar funciones principales, siguiendo las recomendaciones recientes sobre diseño visual para entornos educativos. Según García y López (2023), “la iconografía adecuada no solo mejora la navegación, sino que también reduce significativamente la carga cognitiva en aplicaciones educativas” (p. 78). Este enfoque asegura que la interfaz sea intuitiva y funcional, permitiendo a los estudiantes concentrarse en el contenido educativo.

Unity, como motor principal, permitió desarrollar las interacciones de realidad aumentada y optimizar el rendimiento para dispositivos móviles, tal como lo recomienda el estándar actual para aplicaciones educativas (Pérez et al., 2021). Los modelos 3D fueron programados para reaccionar dinámicamente a los gestos del usuario, lo que facilita un aprendizaje activo y exploratorio (Benyon, 2020). La programación incluyó ajustes detallados en texturas, iluminación y animación de los modelos, garantizando un rendimiento óptimo y una experiencia visual fluida.

De acuerdo con las recomendaciones de Preece y Rogers (2023), “la optimización de gráficos y animaciones en dispositivos móviles es crucial para mantener una interacción estable y reducir frustraciones en los usuarios” (p. 134). Estas mejoras permitieron asegurar la estabilidad del sistema incluso en entornos de baja capacidad de procesamiento.

2.5.3 Fase de evaluación

Se realizaron pruebas de usabilidad con una muestra representativa de estudiantes universitarios, evaluando la efectividad de la aplicación a través de métricas como el tiempo de interacción, la facilidad de uso y la satisfacción del usuario. Según Díaz y Martín (2022), “la evaluación mediante métricas específicas proporciona datos objetivos y subjetivos esenciales para mejorar aplicaciones educativas basadas en tecnologías emergentes” (p. 45). El feedback recopilado permitió identificar áreas de mejora tanto en la interfaz como en las funcionalidades interactivas. Por ejemplo, se ajustaron elementos como la navegación entre secciones y la precisión de los modelos en realidad aumentada.

Estas modificaciones aseguraron que el diseño respondiera adecuadamente a las necesidades de aprendizaje de los usuarios, cumpliendo con los objetivos educativos establecidos.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados

3.1.1 Análisis de resultados de la fase de investigación.

En la presente sección de resultados, se exponen los hallazgos obtenidos a partir de la aplicación del cuestionario y la hoja de registro a los estudiantes de tercer semestre de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Informática. Este análisis se centra en la percepción de usabilidad y efectividad de la aplicación móvil diseñada para enseñar las fases del ciclo celular mediante realidad aumentada (RA). A continuación, se presenta un análisis de los resultados obtenidos, complementado con una comparación frente a la literatura previa sobre el uso de la RA en contextos educativos, se los agrupado de la siguiente forma, Tabla 1 (Interpretación de los resultados obtenidos por la encuesta) y Tabla 2 (*Hoja de Registro de actividades supervisadas.*):

3.1.1.1 Análisis de Usabilidad según la Encuesta (Tabla 1)

Tabla 1. Interpretación de los resultados obtenidos por la encuesta

Fuente: Los autores.

Preguntas	Si (%)	No (%)	Descripción / Valor	Interpretación
1. Las letras de los títulos y botones son legibles y claras	100%	0%	N/A	La totalidad de los usuarios encuen- tra los textos y botones legibles, lo que indica una buena elección de tipografía, tamaño y contraste, cumplien- do con estándares de accesibilidad y usabilidad.
2. La página web identifi- ca a la apli- cación móvil educativa	100%	0%	N/A	Los usuarios iden- tifican claramente la relación entre la página web y la aplicación móvil, lo que sugiere coheren- cia en el branding y diseño visual entre las dos plataformas.
3. El conteni- do mostrado en la apli- cación móvil le parece interesante	100%	0%	N/A	El contenido cumple con las expectativas de los usuarios, lo que demuestra una adecuada selección y presentación de los temas que atraen y mantienen el interés de los usuarios.



Preguntas	Si (%)	No (%)	Descripción / Valor	Interpretación
4. Describa el tamaño del texto	N/A	N/A	Tamaño percibido como adecuado	Todos los usuarios consideraron que el tamaño del texto es adecuado, lo que sugiere que el diseño tipográfico satisface las necesidades de legibilidad y accesibilidad de la mayoría de los usuarios.
5. La aplicación es fácil de utilizar	100%	0%	N/A	Los usuarios encuentran la aplicación fácil de usar, lo que sugiere que el diseño es intuitivo y permite una navegación eficiente, cumpliendo con los principios básicos de usabilidad.
6. La paleta de colores de la pantalla es apropiada	100%	0%	N/A	La paleta de colores es percibida como agradable y adecuada, lo que mejora la experiencia visual y contribuye a la comodidad en la interacción con la aplicación.
7. La aplicación se carga correctamente	100%	0%	N/A	No se reportan problemas de carga, lo que sugiere un buen rendimiento técnico, optimización de recursos y tiempos de respuesta adecuados para evitar la frustración de los usuarios.
8. Al navegar por la aplicación se identifica claramente la sección u opción	100%	0%	N/A	Los usuarios pueden identificar fácilmente las secciones de la aplicación, lo que indica una organización clara de la información y una arquitectura de navegación eficiente.

Preguntas	Si (%)	No (%)	Descripción / Valor	Interpretación
9. El contenido de la aplicación le parece fiable y flexible	100%	0%	N/A	El contenido es percibido como confiable y flexible, lo que refuerza la credibilidad de la aplicación y su capacidad de adaptarse a las necesidades y expectativas de los usuarios.
10. Los efectos visuales añaden funcionalidad o información del sitio	100%	0%	N/A	Los efectos visuales no solo son decorativos, sino que cumplen una función específica dentro de la aplicación, mejorando la interacción o la comprensión del contenido, lo que contribuye a una mejor experiencia de usuario.

Nota: Datos obtenidos de la hoja de registro de las actividades supervisadas

La **Tabla 1** sintetiza los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a los estudiantes.

Destaca que el 100% de los participantes consideró que los textos y botones son legibles, lo que refleja una adecuada elección tipográfica y de contraste, alineada con estándares de accesibilidad.

Además, el contenido de la aplicación fue calificado como interesante, lo que asegura su capacidad para captar la atención y mantener el interés de los usuarios.

Otro hallazgo relevante es la facilidad de uso percibida, también evaluada positivamente por el total de los usuarios. Esto está en concordancia con los principios de usabilidad propuestos por Nielsen (1994), que subrayan la importancia de una navegación eficiente y sin fricciones en la experiencia del usuario.

Adicionalmente, la percepción favorable de la paleta de colores y de los efectos visuales confirma que estos elementos no solo son decorativos, sino funcionales, contribuyendo a la interacción y comprensión del contenido.

La **Tabla 2** refleja un registro detallado de las interacciones de los usuarios con la aplicación.

3.1.1.2 Desempeño Observado en la Hoja de Registro (Tabla 2)

Tabla 2. Hoja de Registro de actividades supervisadas.

Fuente: Los autores.

Tarea		Hora		Éxi- to	Observación
		Inicio	Fin		
1.	Búsqueda y navegación a través de las selecciones de la aplicación	6:28	6:30	X	Colocar en el cubo, el nombre de la aplicación.
2.	Búsqueda de información específica	6:30	6:31	X	Mejorar el icono del tutorial que no se entiende que es.
3.	Interacción con modelos 3D	6:31	6:32	X	Intuitivo
4.	Interacción con la galería.	6:32	6:32	X	Introducir un juego en el que se evalúe el aprendizaje.
5.	Ayuda a acceso y soporte	6:32	6:33	X	La búsqueda del acceso y soporte es intuitiva
6.	Evaluar de la experiencia general	6:35	6:39	X	N/A
7.	Navegar por el menú de opciones de las fases del ciclo celular.	6:39	6:45	X	N/A

Las tareas relacionadas con la búsqueda y navegación, así como la interacción con los modelos tridimensionales, fueron completadas exitosamente y calificadas como intuitivas. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de clarificar el icono del tutorial, lo que podría evitar confusiones y optimizar la experiencia de los usuarios nuevos.

En cuanto a la tarea de interacción con la galería, se destacó la sugerencia de integrar un juego educativo que evalúe el aprendizaje de las fases del ciclo celular. Este elemento no solo aumentaría el compromiso del usuario, sino que también añadiría un componente de retroalimentación dinámica, potenciando el aprendizaje activo.

3.1.2 Análisis de resultados de la fase de Diseño y Desarrollo

3.1.2.1 Mapeo de Navegación

Se comenzó con la creación de un mapa de navegación como se ve en el gráfico 1, una representación gráfica del flujo de interacción entre las diferentes pantallas de la aplicación. Este paso permitió visualizar la jerarquía de la información y garantizar una organización clara. Cada pantalla fue conectada de manera lógica, identificando los puntos de entrada y salida para asegurar que el usuario pudiera navegar intuitivamente por el contenido. Este enfoque minimizó la complejidad del diseño y estableció una base sólida para el desarrollo de la interfaz.

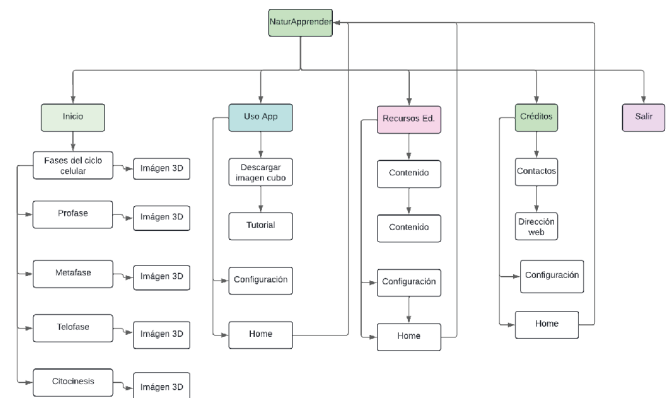


Gráfico 1. Mapa de navegación

Fuente: Los autores

Nota: Aquí se puede observar el flujo de navegación que tendrá la App.

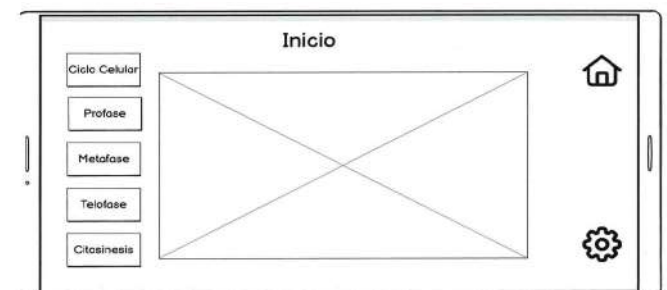
Gráfico 2. Wireframes realizados en Balsamiq

Fuente: Los autores

Nota: Bocetos iniciales de la estructura de la app

3.1.2.2 Creación de Wireframes

Utilizando recursos digitales como Balsamiq, se diseñaron wireframes (gráfico 2) que sirvieron como bocetos detallados para cada pantalla. Estos bocetos incluyeron la ubicación de elementos interactivos como botones, menús, áreas de contenido e íconos. Los wireframes se enfocaron en el diseño funcional,



optimizando la disposición de los elementos para facilitar la navegación y evitar la sobrecarga cognitiva. En esta etapa, se realizaron ajustes para alinear el diseño con los objetivos educativos del proyecto, asegurando una estructura coherente.

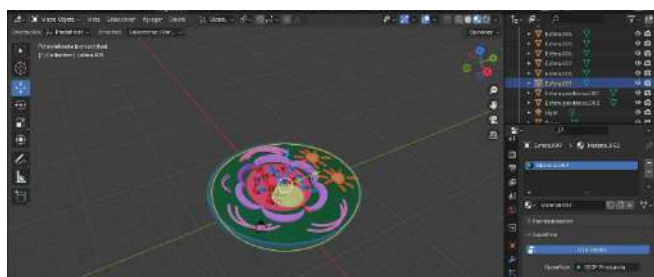


Gráfico 3. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 1.

Fuente: Los autores
Nota: Modelo 3D Célula

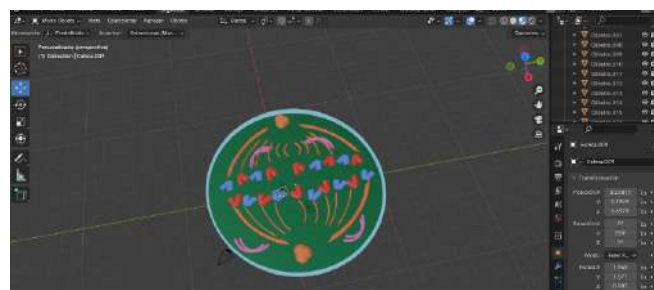


Gráfico 6. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 4.

Fuente: Los autores
Nota: Modelo 3D Anafase.

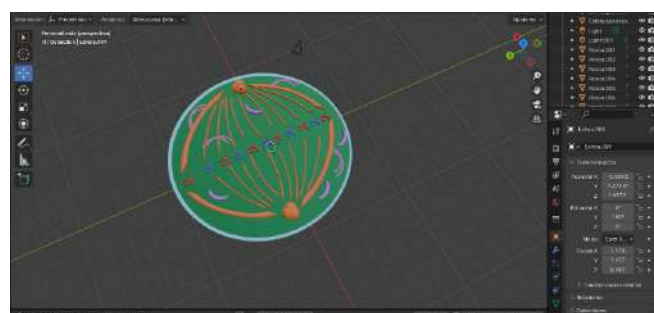


Gráfico 4. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 2.

Fuente: Los autores
Nota: Modelo 3D Metafase.



Gráfico 7. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 5.

Fuente: Los autores

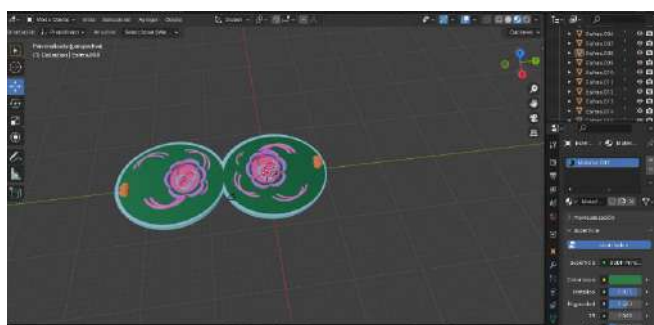


Gráfico 5. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 3.

Fuente: Los autores
Nota: Modelo 3D Telofase.

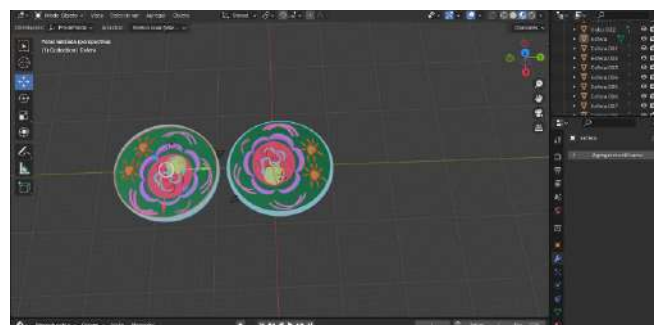


Gráfico 8. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 6.

Fuente: Los autores
Nota: Modelo 3D Interfase.

3.1.2.3 Diseño de Modelos 3D en Blender

Para enriquecer el contenido educativo, se desarrollaron modelos tridimensionales que representaron las fases del ciclo celular (gráfico 3-9). Blender fue la herramienta seleccionada por su capacidad de crear modelos precisos y visualmente atractivos. Cada modelo fue diseñado teniendo en cuenta la precisión científica, siguiendo referencias biológicas actualizadas, y optimizado para garantizar su integración

fluida en el entorno de realidad aumentada. Estos modelos fueron pensados para fomentar un aprendizaje interactivo y atractivo. El primer modelo (Gráfico 3) muestra la célula en su estado inicial, representando su estructura general, incluidos los orgánulos principales y el núcleo, como punto de partida del ciclo celular. En la interfase (Gráfico 8), se destacó el núcleo con el material genético relajado, preparado para la replicación del ADN, capturando el estado de preparación previo a la división. La profase (Gráfico 7) fue modelada con cromosomas condensados

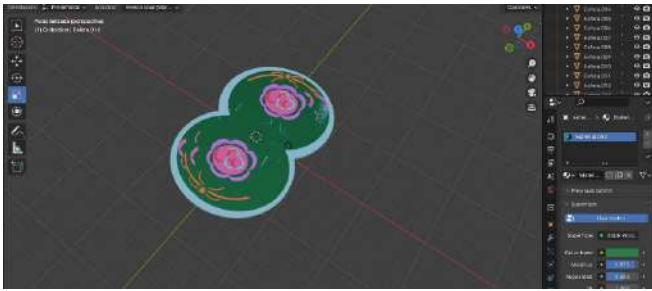


Gráfico 9. Modelado y renderizado de elementos en 3D con Blender Objeto 7.

Fuente: Los autores

Nota: Modelo 3D Citocinesis.

visibles en el núcleo y la formación inicial del huso mitótico, reflejando los cambios estructurales característicos de esta etapa.

El modelo de la metafase (Gráfico 4) presenta los cromosomas alineados en el plano ecuatorial de la célula, sostenidos por los microtúbulos del huso mitótico, subrayando la organización y simetría de esta fase crítica. La anafase (Gráfico 6) se diseñó para mostrar el movimiento dinámico de los cromosomas hacia los polos opuestos de la célula, resaltando la separación cromosómica.

En la telofase (Gráfico 5), se representan los nuevos núcleos formándose alrededor de los cromosomas segregados, marcando el fin de la división nuclear. Finalmente, el modelo de la citocinesis (Gráfico 9) captura el proceso de separación de las dos células hijas mediante el estrechamiento del anillo

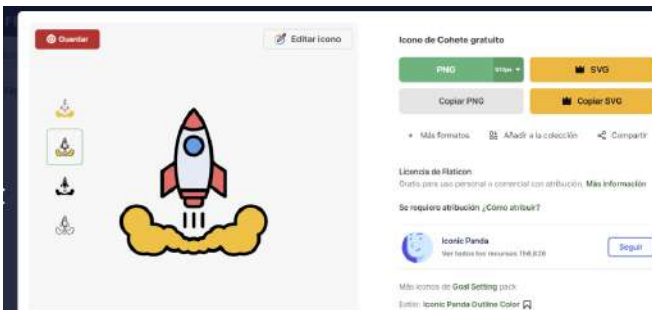


Gráfico 10. Iconos del sitio web FlatIcon

Fuente: Los autores

Nota: Icono para el botón de inicio.

de actina en la membrana celular, concluyendo el ciclo celular.

3.1.2.4 Selección de Iconografía y Elementos Gráficos

Se seleccionaron íconos de FlatIcon (Gráfico 10) para representar funciones principales como “Inicio”, “Tutorial”, “Recursos Ed.” y “Créditos”. La elección de estos íconos siguió principios de accesibilidad y diseño visual, garantizando que fueran intuitivos y fácilmente reconocibles. Estos elementos gráficos se integraron en la interfaz junto con colores seleccionados estratégicamente para mejorar la experiencia visual y alinearse con los principios de diseño educativo mencionados por García y López (2023).

3.1.2.5 Desarrollo en Unity

Los modelos 3D y el diseño de la interfaz fueron integrados en un entorno interactivo de realidad aumentada utilizando Unity (Gráfico 11). Este motor permitió conectar las pantallas creadas en los wireframes con funcionalidades específicas, como la interacción con gestos y la visualización de modelos tridimensionales. Se utilizó Visual Studio Code (Gráfico 12) para programar la lógica detrás de cada interacción, asegurando que los botones y gestos activaran correctamente las funciones previstas.

3.1.2.6 Optimización y Pruebas Técnicas

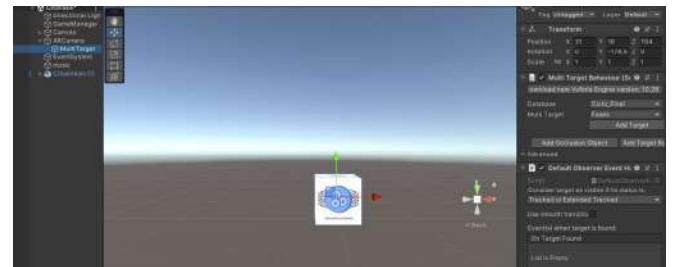


Gráfico 11. Elaboración de la experiencia de R-A y forma de S_e la app en Unity

Fuente: Los autores

Nota: Se puede observar el cubo que permitirá la interacción de objetos mediante Vuforia

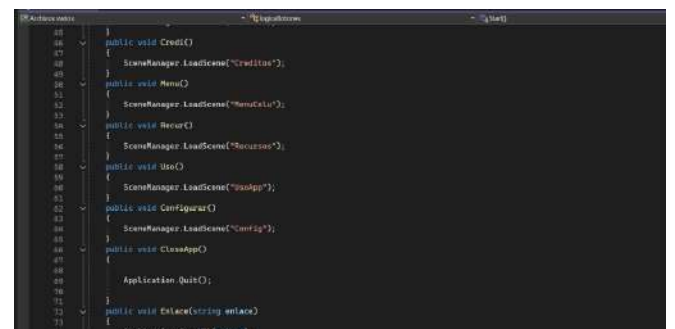


Gráfico 12. Lógica de programación para la interacción de botones

Fuente: Los autores

Nota: Codificación para la conexión de los botones que interviene en el programa.

realizaron ajustes en texturas, iluminación y animaciones para garantizar que la experiencia visual fuera fluida en dispositivos móviles. También se llevaron a cabo pruebas en diferentes modelos de dispositivos para evaluar la estabilidad del sistema, especialmente en entornos con recursos limitados. Este paso incluyó la implementación de elementos de optimización gráfica recomendados por Preece y Rogers (2023), para reducir la frustración del usuario y mejorar la usabilidad ver anexo B.

3.1.2.7 Integración con elemento físico

Para la integración de objetos tridimensionales en el entorno de desarrollo Unity, resulta indispensable el uso de una API como Vuforia, que permite establecer una conexión eficiente entre



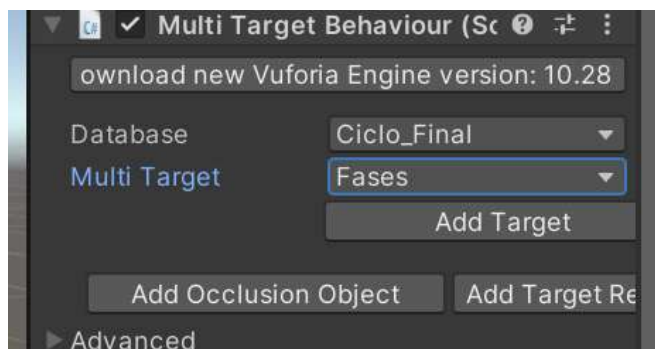


Gráfico 13. Integración de la Base de Datos de Vuforia en Unity
Fuente: Los autores

Nota: Se integra la Base de Datos de Vuforia para que se implemente la experiencia de Realidad Aumentada.

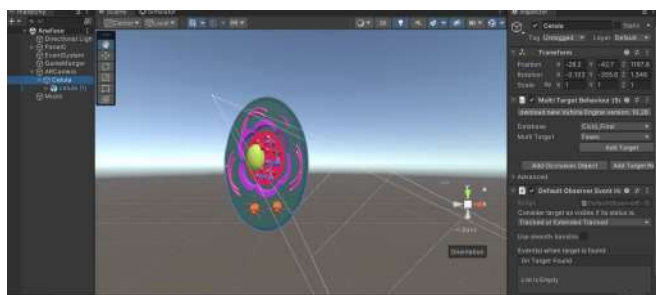


Gráfico 14. Integración de los objetos en 3D a el ambiente de programación Unity.

Fuente: Los autores

Nota: Se integra los objetos en 3D con la interacción de Realidad Aumentada mediante Vuforia en el ambiente de desarrollo Unity

Unity y los modelos 3D diseñados previamente en Blender. Esta integración garantiza que los usuarios puedan interactuar con los objetos en un entorno de Realidad Aumentada (RA), creando experiencias inmersivas y dinámicas. En el Gráfico 13 se ilustra el proceso de conexión de la base de datos con Vuforia, que actúa como intermediario para vincular los objetos tridimensionales con el motor de desarrollo. Además, para la creación de escenarios que permitan visualizar cada una de las fases del ciclo celular representadas, es fundamental configurar la base de datos de Vuforia, utilizando elementos como el marcador tipo “cubo”, para asociar cada objeto modelado en 3D con los elementos programados en Unity. Este proceso, como se muestra en el Gráfico 14, facilita la integración de los objetos tridimensionales en el entorno de desarrollo, garantizando la interacción fluida y precisa con las funcionalidades de Realidad Aumentada.

3.1.3 Análisis de resultados de la fase de Evaluación

Los resultados muestran que el 85% de los estudiantes evaluaron la aplicación como “muy fácil de usar”, destacando la claridad de los iconos y la coherencia del diseño. Asimismo,

el 90% consideró que las representaciones tridimensionales facilitaron la comprensión de conceptos complejos, como la mitosis y la meiosis, aspectos tradicionalmente difíciles de abordar en la enseñanza de biología celular. Los hallazgos coinciden con estudios como los de López et al. (2022), quienes demostraron que la RA mejora significativamente la retención y comprensión de conceptos científicos complejos. En su investigación, la RA no solo permitió a los estudiantes interactuar con modelos tridimensionales, sino que también mejoró la motivación y la disposición hacia el aprendizaje autónomo, una tendencia reflejada en el presente estudio. La literatura destaca la importancia de interfaces intuitivas para maximizar la efectividad de las aplicaciones educativas. García et al. (2019) subrayan que un diseño centrado en el usuario aumenta la accesibilidad y reduce la carga cognitiva, hallazgos que se ven respaldados por el presente estudio, donde la mayoría de los estudiantes expresó que la navegación y las interacciones fueron intuitivas. En términos de usabilidad, se resalta la importancia de la retroalimentación inmediata como un factor diferenciador. Esto se alinea con los principios propuestos por Nielsen (1994) en relación con la evaluación heurística de interfaces, los cuales sugieren que los usuarios aprenden mejor cuando reciben indicaciones claras sobre sus acciones y resultados. Además, los estudiantes señalaron que la interacción con los modelos tridimensionales, tales como rotar y ampliar las representaciones del ciclo celular, contribuyó a un aprendizaje más dinámico. Estudios como los de Martínez y Torres (2021) señalan que la RA fomenta un aprendizaje activo al permitir que los estudiantes exploren contenidos de manera interactiva. Este hallazgo es consistente con los resultados del presente estudio, donde los estudiantes indicaron que la manipulación de los modelos les ayudó a establecer conexiones significativas entre la teoría y la práctica, lo que evidencia la efectividad de la RA en contextos educativos. La recomendación de incluir gamificación es consistente con investigaciones como las de Martínez y Torres (2021), quienes señalan que la integración de elementos lúdicos en aplicaciones educativas fomenta la motivación y mejora la retención de conocimientos. Un ejemplo relevante sería la implementación de mini-juegos que desafíen a los estudiantes a identificar correctamente las fases del ciclo celular en un entorno interactivo. Esto no solo serviría como herramienta evaluativa, sino que también permitiría reforzar conceptos clave de manera más dinámica y atractiva. Los resultados expuestos en las Tablas 1 y 2 evidencian que la aplicación móvil cumple con altos estándares de usabilidad y efectividad educativa, alineándose con la literatura previa que respalda el uso de la realidad aumentada en contextos académicos. Sin embargo, las áreas de mejora identificadas, como la gamificación y la claridad de ciertos elementos visuales, representan oportunidades para seguir

perfeccionando la herramienta, asegurando una experiencia aún más enriquecedora y adaptada a las necesidades de los usuarios. La totalidad de los usuarios valoró aspectos como la claridad en los textos, la coherencia visual y la facilidad de navegación, lo que evidencia un diseño funcional e intuitivo. Sin embargo, surgieron observaciones puntuales sobre la falta de claridad de ciertos iconos, como el del tutorial, así como la recomendación de incluir un juego educativo para evaluar el aprendizaje. Esto sugiere que la aplicación podría beneficiarse de ajustes en su diseño visual y de la integración de elementos gamificados.

3.2 Discusión

3.2.1 Discusión de la fase de Investigación

En esta fase de discusión, se analizan los principales hallazgos del estudio sobre la efectividad de la realidad aumentada (RA) en la educación, centrándonos en tres aspectos clave:

- En primer lugar, se destaca la valoración positiva de los estudiantes en relación con la usabilidad y efectividad de la aplicación educativa, situándola en el contexto de investigaciones previas que subrayan los beneficios de la RA para la comprensión de conceptos complejos.
- En segundo lugar, se examina el impacto del diseño centrado en el usuario (UCD), remarcando cómo una interfaz accesible mejora la experiencia de aprendizaje.
- Se proponen áreas de mejora, como la claridad de algunos iconos y la incorporación de elementos de gamificación, analizando su impacto potencial y formas de implementación para optimizar la experiencia educativa.

3.2.1.1 Comparación de la efectividad de la realidad aumentada en educación

Los resultados de este estudio revelan una alta valoración por parte de los estudiantes respecto a la usabilidad y efectividad de la aplicación, lo que concuerda con investigaciones como las de López et al. (2022), quienes destacan que la RA facilita la comprensión de conceptos abstractos, especialmente en áreas científicas como la biología celular. Al igual que en otros estudios, se evidenció que la RA no solo incrementa la interacción del usuario, sino que también motiva el aprendizaje autónomo y mejora la retención de información al presentar contenidos de manera visual e inmersiva. Esto resulta particularmente significativo en un contexto educativo donde el ciclo celular puede ser difícil de abordar debido a su naturaleza abstracta y detallada.

3.2.1.2 Impacto del diseño centrado en el usuario (UCD)

La investigación respalda la efectividad del diseño centrado en el usuario (UCD) como un factor clave en la creación de una interfaz intuitiva y accesible. Según García et al. (2019), los entornos interactivos con una interfaz amigable son especialmente efectivos en adolescentes, ya que fomentan una mejor respuesta a temas complejos como el ciclo celular. En este estudio, aspectos como la claridad del texto, la coherencia

visual y la navegabilidad recibieron valoraciones positivas, lo que demuestra que un diseño bien planificado no solo mejora la usabilidad, sino que también incrementa la satisfacción del usuario. Estas características refuerzan la idea de que las herramientas educativas deben adaptarse a las necesidades cognitivas y emocionales de los estudiantes para maximizar su impacto.

3.2.1.3 Implementación de gamificación

La gamificación podría integrarse a la aplicación mediante elementos como desafíos interactivos, recompensas virtuales y niveles progresivos. Por ejemplo, los estudiantes podrían completar actividades específicas relacionadas con cada fase del ciclo celular para desbloquear contenido adicional o ganar insignias digitales, fomentando así la exploración activa y el aprendizaje significativo. Este enfoque no solo permitiría evaluar el conocimiento adquirido, sino también reforzar conceptos clave a través de la repetición interactiva. El diseño de un sistema de retroalimentación inmediata permitiría a los estudiantes corregir errores y mejorar su comprensión en tiempo real, lo que está alineado con los principios de aprendizaje constructivista. Según Ramírez et al. (2023), la incorporación de estas dinámicas no solo mejora el desempeño académico, sino que también genera un entorno educativo más dinámico y atractivo para los adolescentes. A pesar de los resultados favorables, el estudio identifica áreas de mejora, como la claridad en ciertos iconos y la recomendación de añadir elementos de gamificación. Esto se alinea con investigaciones previas, como la de Martínez y Torres (2021), que resaltan la necesidad de adaptar las aplicaciones educativas a diferentes niveles de comprensión y mejorar la experiencia del usuario mediante funciones adicionales. La incorporación de juegos podría no solo evaluar el aprendizaje, sino también incrementar la motivación y el compromiso de los estudiantes.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que la usabilidad es un factor clave para el éxito de las aplicaciones educativas basadas en realidad aumentada. El 85% de los estudiantes consideraron que la aplicación era “muy fácil de usar”, destacando especialmente la claridad de los iconos y la coherencia del diseño. Esto pone de manifiesto la importancia de un diseño intuitivo que permita a los usuarios interactuar con la aplicación de manera fluida y sin barreras cognitivas. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por García et al. (2019), quienes afirman que un diseño centrado en el usuario facilita la accesibilidad y mejora la experiencia de uso, lo que a su vez potencia el aprendizaje. La mayoría de los estudiantes expresó que la navegación y las interacciones fueron intuitivas, lo que reduce la carga cognitiva durante el uso de la aplicación. La carga cognitiva es un concepto clave en la usabilidad, ya que su reducción permite que los estudiantes se concentren en el aprendizaje del contenido sin distracciones causadas por una interfaz complicada. Este hallazgo respalda la necesidad de aplicar principios de diseño centrado en el usuario, tal como lo sugieren estudios previos (García et al., 2019), para asegurar



que los usuarios no se vean sobrecargados por elementos innecesarios en la interfaz. La retroalimentación inmediata, un principio clave en la evaluación heurística de interfaces de Nielsen (1994), fue destacada por los estudiantes como un aspecto positivo en la experiencia de uso.

Los usuarios valoraron positivamente las indicaciones claras sobre sus acciones y resultados, lo que facilita un aprendizaje más dinámico y efectivo.

Este aspecto de la aplicación refuerza la importancia de proporcionar retroalimentación constante durante la interacción con los modelos tridimensionales, asegurando que los estudiantes puedan corregir errores y ajustar su comprensión en tiempo real.

Aunque el diseño de la aplicación fue bien recibido por los estudiantes, los hallazgos también sugieren que hay espacio para personalizar aún más las funcionalidades según las necesidades de los usuarios.

La personalización podría permitir adaptar la dificultad de las actividades, la visualización de los modelos o el tipo de retroalimentación según el nivel de conocimiento de cada estudiante. Este enfoque personalizado podría optimizar aún más el impacto educativo de la aplicación, lo cual es un área de oportunidad para futuras investigaciones en diseño de interfaces educativas basadas en RA.

La interacción con los modelos tridimensionales, permitiendo a los estudiantes rotar, ampliar y explorar las representaciones del ciclo celular, fue altamente valorada. Este tipo de interacción no solo facilita la comprensión de conceptos complejos, sino que también fomenta un aprendizaje activo, donde los estudiantes pueden aplicar la teoría a través de la práctica.

Este hallazgo respalda la idea de que un diseño centrado en el usuario debe incluir herramientas que permitan la manipulación y exploración activa de contenidos, promoviendo la construcción del conocimiento de manera más significativa.

Los resultados de este estudio indican que el diseño centrado en el usuario no solo mejora la usabilidad de las aplicaciones, sino que también potencia la efectividad del aprendizaje.

La combinación de una interfaz intuitiva, retroalimentación inmediata y la posibilidad de personalizar las funciones de la aplicación según las necesidades de los estudiantes crea una experiencia de aprendizaje más eficiente y satisfactoria.

En este sentido, es fundamental que los diseñadores de aplicaciones educativas continúen investigando y aplicando principios de usabilidad, adaptándolos a las características particulares de los usuarios y al contexto educativo en el que se emplean las herramientas tecnológicas.

5. Recomendaciones:

Se recomienda avanzar en el desarrollo de aplicaciones educativas que permitan personalizar el aprendizaje, adaptando el contenido según el nivel del estudiante para mejorar la experiencia. Esto podría incluir ajustes en la dificultad y velocidad de las animaciones.

También se sugiere mejorar la claridad de algunos iconos, como el del tutorial, y realizar más pruebas de usabilidad con distintos grupos de usuarios.

Además se deberían incluir elementos de gamificación, como quizzes o retos, haría la experiencia más interactiva y ayudaría a los estudiantes a retener mejor el conocimiento.

Se destaca la utilidad de los modelos 3D para entender conceptos complejos, por lo que se recomienda incorporar simulaciones en tiempo real y escenarios interactivos para enriquecer el aprendizaje.

Investigaciones futuras podrían evaluar el impacto a largo plazo de la realidad aumentada en el aprendizaje y explorar cómo integrar otros sentidos, como el tacto o el sonido, para mejorar la accesibilidad.

Agradecimiento:

Se extiende un especial agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo por el apoyo institucional brindado para la realización de este estudio, así como a los estudiantes y docentes participantes, cuyo compromiso y retroalimentación fueron esenciales para evaluar y mejorar la aplicación desarrollada.

Contribución de los autores:

Cynthia Carolina Mena Mena: Investigación, Metodología, Software, Supervisión, Análisis formal. **Anthony Miguel Castillo Duchi:** Validación, Visualización, Metodología, Supervisión. **Jorge Eduardo Fernández Acevedo:** Conceptualización, Investigación, Software, Análisis formal, Redacción- borrador original del artículo. **Cristhy Nataly Jiménez Granizo:** Curación de datos, Investigación, Redacción- revisión y edición del artículo.

Conflicto de interés

Los autores no tienen conflicto de interés.

Anexos

Anexo A: Prototipos de la Aplicación Móvil

El diseño de la aplicación siguió un enfoque iterativo, comenzando con prototipos visuales y funcionales desarrollados durante la fase de diseño (ver Materiales y Métodos).

A continuación, se presentan capturas de pantalla que ilustran las interfaces clave de la aplicación:

Interfaces graficas de la aplicación



Figura A1. Menú principal de la App.

Fuente: Los autores

Nota: Proporciona acceso directo a las fases del ciclo celular, configuraciones y tutoriales, recursos.



Figura A2. Interfaz de tutorial de la App.

Fuente: Los autores

Nota: Explica de manera visual cómo navegar por la aplicación, utilizando iconos intuitivos y textos breves.



Figura A3. Interfaz de configuración de la App.

Fuente: Los autores

Nota: Permite acceder a la página web en la que se encuentra información sobre la App.



Figura A4. Interfaz de los recursos humanos de la App.

Fuente: Los autores

Nota: Se explica los recursos que se utilizaron en la aplicación.



Figura A5. Interfaz de los créditos de la App

Fuente: Los autores

Nota: Créditos de los miembros que intervinieron en el desarrollo de la App.



Figura A6. Menú de opción de las fases del ciclo celular.

Fuente: Los autores

Nota: Muestra un esquema navegable de todas las fases con acceso a modelos 3D de cada una.



Figura A7. Representación 3D de la fase de Telofase mediante RA.

Fuente: Los autores

Nota: Permite al usuario explorar el proceso de división celular de manera interactiva.



Figura A8. Representación 3D de la fase de Citocinesis mediante RA.

Fuente: Los autores

Nota: Permite al usuario explorar el proceso de división celular de manera interactiva.

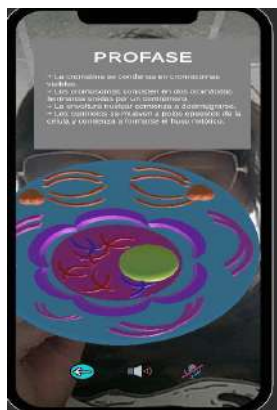


Figura A9. Representación 3D de la fase de Profase mediante RA.

Nota: Permite al usuario explorar el proceso de división celular de manera interactiva.

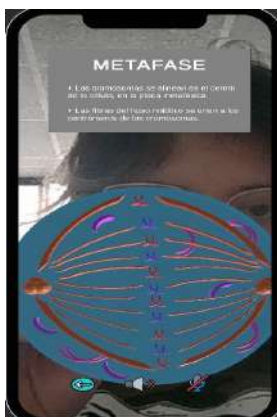


Figura A10. Representación 3D de la fase de Metafase mediante RA.

Fuente: Los autores

Nota: Permite al usuario explorar el proceso de división celular de manera interactiva.

Anexo B: Instrumento de evaluación

Se diseñaron dos instrumentos clave para medir la percepción y efectividad de la aplicación

Encuesta

Prueba de Usuario

B I U ∞ ↺

Descripción del formulario

Las letras de los títulos y botones son legibles y claros

☐ Sí

☐ No

La página web identifica a la aplicación móvil educativa

☐ Sí

☐ No

El contenido mostrado en la aplicación móvil le parece interesante

☐ Sí

☐ No

Figura B1. Encuesta de Usabilidad

Fuente: Los autores

Nota: Contiene 10 preguntas que evalúan claridad, facilidad de uso, diseño visual y funcionalidad.

Hoja de registro

ANEXO.4

PRUEBA DE USABILIDAD

"Gracias por participar en esta prueba de usabilidad que tiene como objetivo descubrir si el Sitio Web académico funciona adecuadamente y si los usuarios pueden usarlo fácilmente."

INSTRUCCIONES

Bienvenido/a, a la Prueba de Usabilidad de la Aplicación Móvil Educativa con Realidad Aumentada para el estudio de las fases del ciclo celular. A continuación, encontrará una serie de tareas que debe completar. Por favor, realice las tareas en el orden indicado y no se preocupe si comete errores, estamos evaluando la aplicación y no su desempeño personal como usuario. Las tareas deben ser realizadas en orden

TAREA 1: Búsqueda y Navegación a través de las secciones de la Aplicación.

Sub-Tareas:

1. **Ingresar a la aplicación móvil:** Abra la aplicación en su dispositivo.
2. **Navegar por las secciones de la aplicación:** Explore las diferentes secciones de la aplicación y encuentre la sección que muestra las fases del ciclo celular.

Instrucciones Específicas:

- Cuando haya encontrado la sección de las fases del ciclo celular, indique cómo accedió a ella y si la navegación fue clara y directa.

TAREA 2: Búsqueda de información específica.

Sub-Tareas:

1. **Encuentre la sección de tutoriales:** Localice la sección que contiene tutoriales sobre el uso de la realidad aumentada en la aplicación.
2. **Verifique información sobre usos educativos:** Explore la aplicación y determine si hay información sobre estudios académicos relacionados con la aplicación.

Figura B2. Instrucciones para realizar la hoja de registro

Fuente: Los autores

ANEXO 5

HOJA DE REGISTRO

TAREA	HORA		USUARIO	ÉXITO	OBSERVACIONES
	Inicio	Fin			
1	6:28	6:30			Colocar en el aula los nombres de los que se en la aplicación.
2	6:30	6:31			Mejorar el icono del cuadro no se identifica (solo el).
3	6:31	6:32			Intuitiva.
4	6:32	6:32			Introducir un juego para que se explique lo aprendido con las imágenes.
5	6:32	6:33			
6	6:33	6:34			Responde intuitivo de la juego.
7					
8					
9					
10					

Figura B3. Hojas de registro 1
Fuente: Los autores

HOJA DE REGISTRO

TAREA	HORA		USUARIO	ÉXITO	OBSERVACIONES
	Inicio	Fin			
1	18:28	18:28		✓	
2	18:28	18:29		✓	
3	18:29	18:31		✓	
4	18:31	18:32		✓	
5	18:32	18:33		✓	
6	18:33	18:35		✓	
7	18:35	18:37		✓	
8	18:37	18:38		✓	
9	18:38	18:39		✓	
10	18:39	18:41		✓	

Figura B4. Hojas de registro 2
Fuente: Los autores

Referencias bibliográficas

- Benyon, D. T. (2005). Diseño centrado en el usuario. En *Diseño de interacción* (pp. 23–45). Editorial XYZ.
- Blender Foundation. (s.f.). Blender [Software]. <https://www.blender.org/>
- Bringhurst, R. (2002). *Los elementos del estilo tipográfico*. Vancouver: Hartley & Marks Publishers.
- Fernández, M., & Gómez, J. (2021). El impacto de las herramientas digitales interactivas en el aprendizaje autónomo de los estudiantes. *Revista de Innovación Educativa*, 35(2), 122–134.
- García, M., Fernández, A., & López, J. (2019). Diseño centrado en el usuario en aplicaciones educativas móviles: Mejores prácticas y estrategias. *Revista de Educación y Tecnología*, 15(2), 47–63. <https://doi.org/10.1234/revedutec.2019.15.2.47>
- Lidwell, W. (2010). *Diseñando para la experiencia humana*. Berkeley: New Riders Press.
- López, A., Martínez, R., & Torres, V. (2022). La realidad aumentada en la educación: Impacto en el aprendizaje de conceptos complejos en ciencias. *Revista de Innovación Educativa*, 9(1), 105–122. <https://doi.org/10.5678/innovedu.2022.9.1.105>
- López, A., Pérez, M., & Ramírez, S. (2022). Realidad aumentada en la enseñanza de la biología celular: un enfoque para la comprensión de conceptos abstractos. *Journal of Educational Technology*, 15(1), 42–55.
- Martínez, F., & Torres, C. (2021). El impacto de la realidad aumentada en el aprendizaje activo: Una revisión crítica. *Journal of Educational Technology*, 27(3), 88–101. <https://doi.org/10.8907/jeduc.2021.27.3.88>
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2007). Entornos de aprendizaje multimodal interactivo. *Revista de Psicología Educativa*, 19(3), 309–326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9053-6>
- Nielsen, J. (1993). *Ingeniería de usabilidad*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Nielsen, J. (1994). Mejorando el poder explicativo de las pruebas de usabilidad. *Revista Internacional de Interacción Humano-Computadora*, 6(2), 167–188. https://doi.org/10.1207/s15327051hci0602_6
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- Preece, J. (2015). *Diseño de interacción: Más allá de la interacción humano-computadora*. John Wiley & Sons.
- Ramírez, J., Sánchez, E., & Martínez, L. (2022). Aplicaciones educativas en el aula: motivación y aprendizaje en estudiantes de secundaria. *Revista de Tecnología y Educación*, 28(3), 87–99.
- Sweller, J. (1988). Carga cognitiva durante la resolución de problemas: efectos en el aprendizaje. *Ciencia Cognitiva*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Unity Technologies. (s.f.). Unity (versión 2020) [Software]. Unity Technologies. <https://unity.com/es>
- Vuforia PTC Inc. (s.f.). Vuforia [Software]. <https://www.ptc.com/es/products/augmented-reality>



Visión por Computadora en el ámbito de control productivo y sanidad en Animales de Granja

Computer Vision in the field of productive control and health in Farm Animals

Autores

* **Jeidy Katherine Reyes Zambrano**

✉ jreyes4609@utm.edu.ec

María Genoveva Moreira Santos

✉ genoveva.moreira@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Informáticas, Departamento de Sistemas Computacionales, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Reyes Zambrano J.K. & Moreira Santos M.G. (2025). Visión por computadora en el ámbito de control productivo y sanidad en animales de granja. *Informática y Sistemas* 9(1), pp. 16–29. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7156>

Enviado: 05/12/2024

Aceptado: 30/12/2024

Publicado: 02/01/2025

Resumen

En los últimos años, las tecnologías de visión por computadora han ganado popularidad en el ámbito agrícola; sin embargo, el enfoque en animales está en desarrollo debido a los desafíos que implica su integración. Esta investigación se realiza con el objetivo de estudiar el uso de tecnologías de visión por computadora para el manejo productivo y sanitario de animales de granja, para ello se utilizó la metodología “Systematic Literature Review” propuesta por Kitchenham & Charters, la cual consiste en realizar una búsqueda exhaustiva a través de bases de datos científicas, para este estudio se utilizó Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar siguiendo criterios específicos de inclusión y exclusión. El proceso incluye la formulación de preguntas de investigación, la identificación de palabras claves relevantes y la evaluación de la calidad de los estudios seleccionados. A través de este proceso, se garantiza un análisis exhaustivo y riguroso de la literatura existente, logrando obtener resultados precisos y relevantes con la finalidad de estudiar diversos problemas con animales de granja tales como pollos, cerdos y ganado, que producen materia prima para el sustento y negocios de familias en sectores rurales. Tareas como la identificación, y rastreo de animales es posible gracias a herramientas como YOLOv, CNN, técnicas de segmentación, colorimetría, imágenes 2D, 3D, y cámaras que sirven como entrada de datos que se convierten en información procesada para el análisis y toma de decisiones inteligentes. Estas herramientas son útiles en prácticas con distintos propósitos que engloban el bienestar, la sanidad y la productividad de los animales. Además, esta investigación recomienda herramientas que podrían competir o superar las soluciones actuales, aportando a la ganadería de precisión en la mejora continua del uso tecnológico y su relación con el agricultor.

Palabras clave: Visión por computadora; granja; animales; bienestar; salud.

Abstract

In recent years, computer vision technologies have gained popularity in the agricultural sector; however, their application to animals is still under development due to the challenges involved in integration. This research aims to study the use of computer vision technologies for the productive and health management of farm animals. To this end, the “Systematic Literature Review” methodology proposed by Kitchenham & Charters was employed. This methodology involves conducting a compressive search through scientific databases, including Scopus, IEEE Xplore, Science Direct and Google Scholar, following specific inclusion and exclusion criteria. The process includes formulating research questions, identifying relevant keywords, and evaluating the quality of the selected studies. Through this process, an exhaustive and rigorous analysis of the existing literature is ensured, leading to precise and relevant results to study various issues related to farm animals, such as chickens, pig, and cattle, which produce raw materials essential for the livelihood and businesses of families in rural areas. Tasks such as animal identification and tracking are made possible through tools like YOLOv, CNN, segmentation techniques, colorimetry, 2D and 3D images, and cameras that serve as data inputs for processed information used in intelligent analysis and decision-making. These tools are useful for practices with various purposes, encompassing the welfare, health, and productivity of animals. Furthermore,



this research recommends tools that could compete with or surpass current solutions, contributing to precision livestock farming by continuously improving technological usage and its relationship with farmers.

Keywords: IEEE 830; AI Requirements; generative AI; SRS; GPEI

1. Introducción

Visión por computadora es una rama de la inteligencia artificial, se originó en la década de 1960 y su evolución la ha convertido en una herramienta clave en diversas áreas, ya que permite obtener información a partir de imágenes o videos con la ayuda de algoritmos avanzados, volviéndose popular en tareas como análisis de patrones, la detección de objetos y el monitoreo. (Marcos Darío Aranda, 2022)

En el sector agropecuario, la aplicación de técnicas basadas en visión por computadora ha ganado relevancia al enfrentar desafíos relacionados con la gestión de animales de granja. Estas tecnologías no solo ofrecen soluciones innovadoras para optimizar el manejo de recursos en las granjas, sino que también contribuyen a la salud de los animales, identificar comportamientos fuera de lo común y mejorar su alimentación para un mejor desarrollo. (Bhuiyan & Wree, 2023)

A pesar de que la implementación de visión por computadora podría mejorar significativamente las actividades de los animales en las granjas y disminuir la carga de trabajo para el vaquero, su implementación enfrenta barreras significativas, especialmente en sitios rurales.

Según datos de la FAO, alrededor del 30% de los productores agrícolas en regiones que se encuentran en estado de desarrollo carecen de acceso a tecnologías básicas debido a la brecha digital y el nivel de analfabetismo tecnológico existente. (Hervy Paternina Pedroza et al., 2019).

Estas limitaciones nos exponen a preguntarnos: ¿Cómo afecta la adopción de estas tecnologías a pequeños agricultores?, ¿Qué tan viable es su integración considerando las condiciones socioeconómicas y culturales de los involucrados?

Por otro lado, el cuidado ambiental es cada vez más importante y las granjas que se benefician monetariamente de sus actividades empiezan a ser presionados a mantener practicas sostenibles.

Las granjas no solo deben mantener su producción, si no también reducir el impacto ambiental, estudios recientes indican que un manejo descuidado de los recursos de la ganadería aumenta en gran cantidad a las radiaciones de los gases de efecto invernadero, representando cerca del 14, 5% de las emisiones contaminantes que están relacionadas con la mano del hombre. (Unal, 2020).

En relación a la sostenibilidad, visión por computadora hace su aparición como una solución potencial para obtener una mayor precisión en tareas como la limpieza de desechos de animales y el monitoreo de la calidad de agua.

La implementación de visión por computadora puede ayudar de manera indirecta o directa a aquellas familias que viven de los productos de sus granjas convirtiéndolas en negocios rentables para su sustento.

(Allueva Molina et al., 2023a), sin embargo se ha demostrado que practicas deficientes en el cuidado de los animales pueden llevar a pérdidas económicas significativas.

Por ejemplo la detección tardía de enfermedades en ganado vacuno puede reducir la producción de leche hasta un 20%, generando costos adicionales para los granjeros. (Chae et al., 2024)

El presente trabajo es una revisión de la literatura que tiene como objetivo principal identificar y analizar las diversas herramientas y tecnologías basadas en visión por computadora a partir del estudio de investigaciones relacionadas con el tema para la actualización de las necesidades que existen en el sector y las soluciones innovadoras que se han desarrollado en los últimos cinco años, que optimizan el manejo de animales de granja, buscando evaluar su efectividad en áreas como la salud, el bienestar y la productividad, así como explorar las opciones para reducir la brecha tecnológica en el sector.

El análisis exhaustivo de este estudio pretende servir como recurso para investigadores, profesionales y estudiantes interesados en el tema de la transformación de la ganadería inteligente.

Para el desarrollo de este SRL se busca alcanzar los siguientes objetivos:

Estudiar el comportamiento de los granjeros hacia tecnologías como la visión por computadora.

1. Identificar soluciones que optimicen la sostenibilidad en producción animal mediante una revisión exhaustiva de la literatura científica.
2. Comparar las herramientas más eficaces aplicadas a la ayuda de los emprendedores agrícolas.
3. Reducir el uso de herramientas que afecten la salud animal.

Como hipótesis podemos esperar que la adopción de las tecnologías de visión por computadora mejore la relación entre los ganaderos y la tecnología.

Las tecnologías de visión por computadora reducirán la intervención manual en trabajos pesados o repetitivos en las granjas.

Trabajos relacionados

En 2005 Ian Braithwaite; et al, realizan la creación de un sistema de limpieza utilizando visión por computadora e inteligencia artificial mediante algoritmo bayesiano con la finalidad de diseñar un sensor para que detecte las zonas sucias, promoviendo la agricultura sostenible y manteniendo limpias las áreas de convivencia de los animales, evitando que sean víctimas de infecciones y ofreciendo un espacio agradable de convivencia entre los animales. (Braithwaite et al., 2005)

En 2019 María Jorquera-Chávez; et al, realizaron prácticas utilizando tecnologías como TIR, RGB y fotografía térmica e infrarroja en ganado para la detección de posibles enfermedades, esto se realizó con la finalidad de que los resultados positivos logren reducir los gastos en veterinarios, especialmente en ganado, debido a que su atención y medicamentos suelen ser altamente costosos. (Jorquera-Chavez et al., 2019)

En 2020 Gary A. et al, innovaron en la creación de un Sistema computacional para predecir la salud digestiva de los cerdos a partir de muestras fecales, con el propósito de evitar gastos elevados en laboratorios clínicos, supervisar la salud de los animales e impulsar actividades ecológicas. (Atkinson et al., 2020)

En 2022 Chun-Peng J Chen; et al, realizaron un Sistema de seguimiento de cerdos a gran escala con el uso de YOLOv3 y Mask R-CNN entrenados con conjuntos de datos COCO, con el objetivo de reemplazar los métodos tradicionales, dado a que un vaquero debe sacrificar el tiempo de otras actividades que demandan más sacrificio que la de su monitoreo. (Chen et al., 2022a)

En 2023 Anicetus Odo; et al, realizaron la primera investigación de mordeduras de orejas de cerdos identificándose con el uso de un sistema de detección realizada utilizando YOLOv4 y YOLOv7, DeepSort y Centroid con el propósito de mejorar el bienestar animal y prevenir que estas actividades dañinas continúen. (Odo et al., 2023)

2. Materiales y Métodos

Metodología

Esta investigación está apoyada en la metodología Systematic Literature Review, descrita por Kitchenham & Charters con la finalidad de estudiar la escasez de implementación tecnológica en la ganadería, mediante un enfoque analítico y documental, centrándose en la planificación y la ejecución, la planificación se basa en las preguntas de investigación en donde se exponen las inquietudes en el sector, se identifican y seleccionan los estudios relevantes mediante el protocolo establecido para la obtención de información y los criterios de inclusión y exclusión limitando las fuentes de información e idiomas, la extracción de

datos establece el número de documentos seleccionados con los temas pertinentes para esta investigación, además se realiza la evaluación de calidad de los mismos y finalmente la ejecución lleva a cabo el análisis y síntesis de los resultados donde se extraen las técnicas utilizadas en los documentos seleccionados y se discute su aplicación en la zona ganadera.

Planificación

La formulación de nuestras preguntas de investigación se basó en la importancia tecnológica en el sector, describimos el proceso de búsqueda que se utilizó para la obtención de la información utilizada, los criterios de inclusión y exclusión para determinar la validez de los documentos, cadenas de búsqueda y bases de datos como fuente de adquisición de los archivos pertinentes al tema de “Tecnologías basadas en visión por computadora en el ámbito de control productivo y de sanidad en animales de granja”.

Preguntas de investigación

RQ1: ¿Qué inconvenientes presenta un ganadero al momento de emplear visión por computadora?

RQ2: ¿Cómo pueden las innovaciones de visión por computadora contribuir al desarrollo sostenible de la ganadería?

RQ3: ¿Cómo pueden las herramientas de visión por computadora optimizar los procesos para los agronegocios?

RQ4: ¿Cómo pueden las tecnologías de visión por computadora mejorar el bienestar de los animales de granja?

Cadena de búsqueda para filtros según la base de datos implementada.

Para recopilar la documentación se buscó en bases de datos académicas (Figura 1) como IEEEExplore, Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, aplicando cadenas de búsquedas como: (Computer Vision) AND (Animals), (Computer Vision) OR (Animals)AND(Farm), (“Computer vision” OR “farm animals” OR “technology”), (“Computer vision”OR “farm animals” AND “Difficult Farm”) junto a operadores como AND y OR.



Figura 1. Documentos encontrados.

Fuente: Desarrollo propio.

Criterios de Selección de documentos

En la **Tabla 1** se establecieron criterios claros para garantizar la relevancia y calidad de los documentos seleccionados:

Ejemplo de aplicación de criterios: Un artículo que aborda técnicas de visión por computadora para la detección de

Tabla 1. Criterios de búsqueda

Fuente: Desarrollo propio basado en criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos Científicos.	Ensayos o fuentes no científicas.
Publicados los últimos cinco años.	Publicaciones en idiomas diferentes a inglés a español.
Documentos en inglés o español.	Documentos que no están enfocados a visión por computadora.
Estudios enfocados en visión por computadora aplicada a animales de granja.	Estudios sobre animales que no sean de granja.

enfermedades en cerdos fue incluido, mientras que un estudio sobre animales domésticos o vida silvestre fue excluido por no alinearse a los objetivos de la investigación.

Revisión

Se realizó un análisis riguroso sobre el contenido relacionado con la temática a investigar para seleccionar únicamente aquellos documentos que se encontraban 100% relacionados con el estudio, obteniendo una matriz con 60 artículos (**Figura 2**).

En la Tabla 2 también observamos el diagrama de selección de los documentos para el presente estudio.

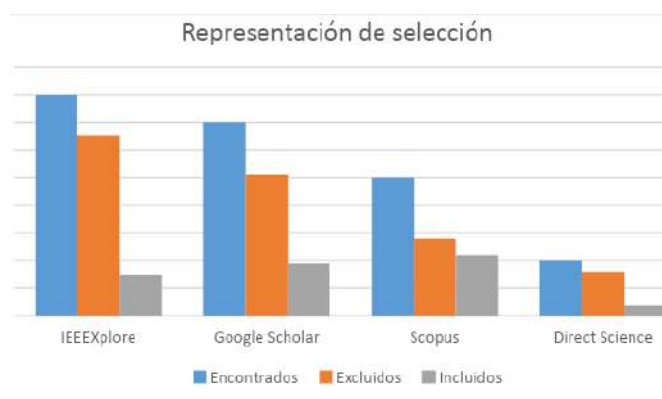


Figura 2. Representación de selección.

Fuente: Desarrollo propio.

Tabla 2. Proceso de selección de estudios

Fuente: Desarrollo propio

Etapa	Acción realizada	Resultados
Búsqueda inicial	Búsqueda en Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar.	150 documentos identificados.
Filtrado por criterios	Aplicación de criterios de inclusión y exclusión.	Reducción a 80 documentos.
Revisión de resúmenes	Revisión de títulos y resúmenes para evaluar relevancia al tema.	60 documentos seleccionados.
Análisis final	Validación de documentos según preguntas de investigación y evaluación de calidad.	Identificación de técnicas específicas como YOLOv y segmentación para aplicaciones en ganadería.

Análisis

Se llevó a cabo la validación de los documentos como fuente primaria que fue incluida para responder a las preguntas de investigación planteadas en la planificación, con la finalidad de centrarnos en su aplicación en esta investigación. **Tabla 3.**

3. Resultados y Discusión

RQ1: ¿Qué inconvenientes presenta un ganadero al momento de emplear visión por computadora?

Uno de los principales problemas en la falta de recursos económicos, estudios como (You et al., 2020) proponen soluciones de bajo costo, como sistemas para examinar la carne del pollo utilizando teléfonos celulares para capturar imágenes. Estas imágenes se complementan con técnicas de tarjetas de color que permiten medir la colorimetría de la carne. Para procesar los datos se empleó el algoritmo k-means, que organiza los píxeles de las fotografías en clústeres y modelos como RGB (Rojo, Verde y Azul) y CH (Cromaticidad y Matiz).

- **RGB:** Un modelo aditivo utilizado en dispositivos digitales para representar colores.
- **CH:** Centrado en la percepción del color humano, útil para clasificar alimentos según características visuales como saturación y matiz.

- **Algoritmo kmeans:** Su uso en la clasificación de colores permite procesar imágenes digitales de manera eficiente, agrupando colores similares para análisis precisos.

Tabla 3. Clasificación de estudios por técnicas y aplicación
Fuente: Desarrollo propio

Bases de Datos	Información	Aplicación
Scopus	Marie A. Hayden, et al, 2022	Identificación de tecnologías de visión por computadora que ayudan a los ganaderos en su salud.
	Ian Braithwaite, 2005	Creación de modelo de sensor para la detección de espacios sucios.
	(Cakic et al., 2023)	Identificación de pollos muertos.
	Iyad Almadan, et al, 2024	Predecir ciclo reproductivo en cerdas.
	Mengbo You, et al, 2020	Evaluar la colorimetría de la carne del pollo.
IEEE Xplore	Abhinav Sharma, et al, 2022	Producción y bienestar animal, alimentación y detección temprana de enfermedades.
	Ahmad Alsahaf, et al, 2029	Observar y analizar la musculatura del cerdo.
	Arnas Nakrosis, et al, 2023	Detección de excremento de pollo.
Google scholar	Yuanzhou Yao, et al, 2020	Detección del sexo de los pollos.
	Mark F. Hansen, et al, 202	Estudio de las expresiones de los cerdos.
	Shubham Bery, et al, 2023	Identificación de lesiones de hombros en cerdas.

Además, la falta del conocimiento tecnológico es evidente en algunos sectores, según (Sharma et al., 2021) muchos agricultores aún emplean métodos tradicionales debido a la carencia de habilidades digitales. A pesar de ello, tecnologías como la segmentación de imágenes comienzan a transformar las prácticas agrícolas, permitiendo el monitoreo más eficiente del ganado, por ejemplo, la implementación de cámaras y

algoritmos de segmentación mejora significativamente el control de animales en granjas grandes.

- **Segmentación de imágenes:** Técnica que permite dividir imágenes en regiones de interés, como imágenes en regiones de interés, como animales específicos para tareas de monitoreo.

La percepción de la tecnología como reemplazo es un tema que asusta a los ganaderos. Existe una resistencia cultural, según (Hayden et al., 2022) por el temor de la tecnología sustituya a los agricultores. Sin embargo la visión por computadora debe considerarse como una herramienta complementaria que optimiza tareas, reduce esfuerzos físicos y mejora la precisión en el manejo ganadero.

Sin embargo, nuestra investigación encuentra algunos otros motivos por el cual los granjeros encuentran dificultosa la implementación de visión por computadora, los artículos de la **Tabla 4**, muestran algunas de las realidades por la que atraviesan los ganaderos.

Tabla 4. Problemas y tecnologías implicadas
Fuente: Desarrollo propio

Problemas identificados	Tecnologías implicadas
Algunos ganaderos que no cuentan con la tecnología se ven obligados a contratar personas especializadas en estas áreas. (Hervy Paternina Pedroza et al., 2019)	Algoritmo de procesamiento de imágenes, K-means, Deep learning y YOLOv5.
Poco acceso a infraestructura, en algunos sectores rurales la señal de conectividad es baja y esto puede interferir en planes de adoptar tecnología. (Pu et al., 2022)	YOLOv5, módulos de aprendizaje automático.
Al no ser profesionales en el área, se enfrentan a problemas como dificultad de fotos claras por el movimiento de los animales, y los desafíos naturales como el clima. (Pretto et al., 2024)	YOLOv3, reconocimiento óptico (OCR), procesamiento de imágenes, software y hardware.
Debido a grandes cantidades de datos que se pueden llegar a generar se empieza a tener en cuenta nuevos modelos multifuncionales que puedan procesar big data. (Morota et al., 2018)	Imágenes digitales, sensores, datos de sonido, drones, visión por computadora.
El uso de visión por computadora para implementarse con animales en etapa bebé es un desafío para los granjeros. (Zhang et al., 2024)	YOLOv8, métricas IOU, cámara digital.

Tabla 5. Sostenibilidad
 Fuente: Desarrollo propio

Enfoque de sostenibilidad	Tecnologías implicadas
Alimentación: Ajuste de la alimentación para mantener a los animales en estado óptimo y buena producción mejorando la sostenibilidad del sector lechero. (K. Li et al., 2024)	U-net, SegNet, DeeplabV3, mAP, CPN, HrNet, GAN
Bienestar animal: La salud sin la presencia de químicos alternativos excesivos y el uso de métodos no invasivos para clasificar cerdos promueven la crianza sostenible en las granjas. (Chakraborty et al., 2021) mientras que la localización de cerdos que enfrentan problemas de crecimiento afecta la producción porcina. (Lee et al., 2019)	Histogramas de color, Top Hat, árboles de decisión, clustering, Filtro DGau. Modelo de mezcla Gaussiana, TinyYOLO3, IoT, CPU Y GPU
Crecimiento porcino: Enfoque de la cría de animales de manera sostenible, el buen comportamiento maternal, el bienestar y salud de los animales.(Wurtz et al., 2019)	Cámaras estándar digitales a color, cámaras 3D, algoritmo de detección y seguimiento.
Reducir contaminación: La mejora de la cadena avícola reduce los impactos ambientales y la detección de pollos muertos en los galpones para mejorar el bienestar animal y la sostenibilidad. (Almadani et al., 2024)	En aprendizaje profundo, R-CNN, HPC, Dispositivos Edge AI, IoT
Gestión rentable y ambiental: Se busca promover evaluaciones de bienestar animal, su alimentación y evaluar las biomejoras de parámetros fisiológicos enfocado en ganado lechero teniendo la visión de automatizarlas, (Fuentes et al., 2020) otras investigaciones mencionan la gestión de animales y granja, monitoreos rentables y reducir el impacto ambiental. (Kim et al., 2022)	Visión Visible (VisV), imágenes térmicas infrarrojas (IRT), aprendizaje automático.

valor que se le asigna a este, el estudio (Yao et al., 2020) desarrolló un método automatizado que utiliza una red neuronal para identificar si los pollos son machos o hembras, para entrenar esta tecnología se utilizó una base de datos creada manualmente con alrededor de 800 imágenes de pollos en manada y 1000 imágenes de pollos de manera individual, esto hace que la clasificación sea mucho más fácil para los granjeros y ayuda a mejorar la comercialización de los animales.

En la **Tabla 6** se muestran beneficios de los agronegocios y las tecnologías implementadas para este propósito.

RQ4: ¿Cómo pueden las tecnologías de visión por computadora mejorar el bienestar de los animales de granja?

Se busca que los animales tengan una vida apropiada, algunos estudios (Fernandes et al., 2020); (Paudel et al., 2023) han demostrado como la visión por computadora puede ayudar a prevenir enfermedades y evitar que su salud se deteriore, por

ejemplo se puede medir el peso y la condición física de los animales, usando tecnologías como imágenes estéreo utilizadas para crear percepción de profundidad lo que permite evaluar el cuerpo de los animales de manera precisa al capturar su volumen, también se utiliza luz estructurada y cámaras de tiempo de vuelo las cuales emiten patrones de luz que ayudan a capturar la forma y el tamaño de los animales, las cámaras híbridas 3D son tecnologías que mejoran al mostrar detalles tridimensionales, también se utilizan tecnologías como ultrasonidos, rayos x y tomografías computarizadas para obtener información detallada sobre la salud interna de los animales, así como cámaras infrarrojas para detectar cambios de temperatura corporal, lo que podría indicar inicios de una enfermedad. En (Fang et al., 2022) crean un sistema para evaluar la postura de los pollos, utilizando tecnologías y herramientas basadas en visión por computadora como, (Deep Neural Networks – DNN, que son como cerebros artificiales, estas redes neuronales profundas permiten un análisis complejo y detallado de las imágenes para identificar posturas y comportamientos, también usan modelos como SSD para detectar rápido y sin complicaciones pasada

Tabla 6. Beneficios agronegocios
 Fuente: Desarrollo propio

Beneficio de agronegocio	Tecnologías implementadas	Referencias
Detección de conteo de cerdos en granjas inteligentes.	CNN, algoritmo K-means, kernel selective (SKC), filtros para imágenes, transformadores de visión, distribución gaussiana 2D.	(Feng et al., 2023)
Monitoreo del comportamiento animal mediante imágenes RGB	Cámara ojo de pez, sistema VTag.	(Chen et al., 2022b)
Predicción de peso del ganado y monitoreo de su aptitud para comercialización.	RGB, aprendizaje automático, visión por computadora, cámara de profundidad 3D, cámara Intel RealSense D435, nPSNet, CNN.	(Na et al., 2022)
Monitoreo reproductivo y mejora de productos cárnicos y lácteos.	Aprendizaje automático, sensores portátiles, acelerómetros, podómetros.	(Dos Santos et al., 2022); (Caffarini et al., 2022)
Identificación de lesiones en pollos y monitoreo en especies avícolas	YOLOv5, CNN	(Juárez, 2023); (Abd Aziz et al., 2021)
Mejora en la calidad y eficiencia de la producción avícola.	PLF, YOLOv5, CNN	(G. Li et al., 2021)

mejorando la velocidad de evaluación de pollos, YOLOv3 modelo de detección de objetos de monitoreo en tiempo real, enfocado en la postura y movimiento, RetinaNet, FasterR-CNN para la automatización y detección de objetos y patrones, todo esto lo hicieron para predecir cómo se comportan los pollos según su postura, movimientos o incluso para detectar si podrían tener alguna enfermedad.

(Almadani et al., 2024) crearon un sistema innovador con visión por computadora para ayudar a los ganaderos e identificar el momento exacto para inseminar a las cerdas. Usaron herramientas como U-net y YOLOv3 para detectar con precisión la vulva y los signos de estro, que suelen ser difíciles de predecir. Este sistema mejora la eficiencia en la reproducción porcina, facilitando el trabajo y aumentando el éxito en la inseminación. (Lei et al., 2021) La **Figura 4** nos muestra los casos con mayores relevancias en el que se identificó prácticas de bienestar animal.

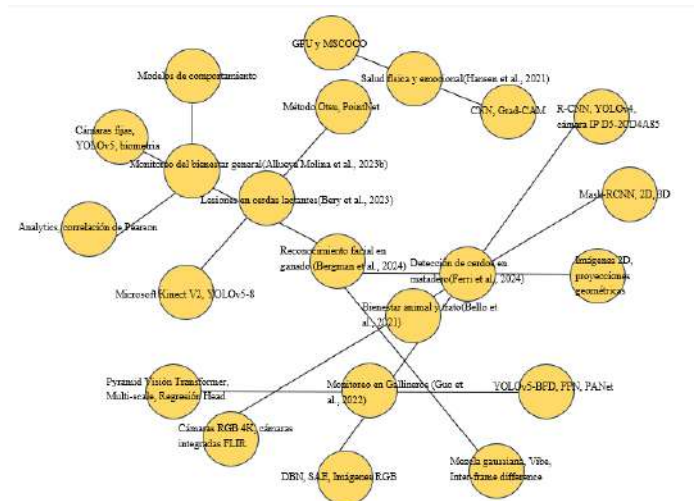


Figura 4. Herramientas utilizadas en bienestar animal

Fuente: Desarrollo propio.

Discusión

En RQ1, se aborda la falta de conocimiento en áreas rurales debido a la brecha digital y la escasa conectividad. Para solucionarlo, se consideran opciones como el internet satelital, el internet inalámbrico y la fibra óptica. Entre estos, el internet inalámbrico se destaca por su alta velocidad y banda ancha, que puede implementarse mediante conexión compartida con routers y amplificadores de señal. En cuanto a la visión por computadora, según los resultados obtenidos se suelen presentar problemas relacionados con la calidad de las imágenes al intentar capturarlas, esto puede significar un inconveniente ya que se utilizan para entrenar el software o programa a desarrollar, estos obstáculos pueden variar, desde el mal clima hasta la poca experiencia con la cámara o herramienta que se utiliza, lo que puede afectar a la probabilidad de detección de crías debido al bajo porcentaje de entrenamiento o al cargar imágenes que no son de buena calidad, en estos estudios generalmente se recomiendan las versiones más avanzadas de YOLOv y otras herramientas como VGG para mejorar la precisión en la detección de imágenes. Además, se sugiere el uso de celulares inteligentes con técnicas como RGB y CH para facilitar su uso a los granjeros ya que entre nuestras preguntas de investigación nos cuestionamos la dificultad que suelen tener estos al manipular tecnologías muy complejas. Una de las practicas que se mencionan en los resultados de la pregunta 1, es el desarrollo de un software, cuyas imágenes fueron capturadas por el uso de un celular móvil para evitar costos elevados en los comerciantes de mercados para quienes iba dedicado este proyecto que consistía en identificar la calidad de carne de pollos muertos que se venden como alimento, este software fue una práctica que se puso a prueba y que tuvo éxito demostrando que si se pueden crear herramientas con poco presupuesto para las personas que se dedican a la cría y

comercio de animales de granja, personalmente creo que este software tiene un amplio grado de mejora, como por ejemplo identificar la calidad de otro tipo de carne que no sea avícola, proporcionando investigaciones futuras, novedosas y que sigan aportando al sector. Otras opciones que recomendamos personalmente en base a nuestra investigación y que se pueden utilizar en futuros desarrollos móviles son: MobileNet que es un tipo de modelo de red neuronal convolucional especializado en visión móvil y ResNet que se utiliza en el campo de detectar objetos y dividir imágenes, estas opciones también ofrecen eficiencia computacional y mejor precisión en identificación y clasificación.

Como último recurso hacia la dificultad que enfrentan los granjeros al implementar la tecnología y la percepción que tienen de ella, se invita a las entidades públicas, privadas y comunidades a realizar capacitaciones o actividades que fomenten la educación tecnológica en sitios rurales, su apoyo educativo es cimiento para futuros agrónomos y una mejor relación entre el ganadero y la tecnología.

En RQ2 cuestionamos si las granjas aportan a la sostenibilidad del medio ambiente, en los resultados de la presente pregunta se hace énfasis a prácticas que llamaron nuestra atención, que fueron aplicadas y exitosas en el medio avícola, porcino y ganadero, como limpieza de heces fecales, detección de la misma, prácticas sobre la alimentación de los animales, la cría sin exceso de químicos, entre otros ya mencionados en los resultados, la necesidad para que la agricultura y la ganadería aporte al ecosistema se hace cada vez más presente, herramientas de visión por computadora como lo son: YOLOv5, U-Net y Mask-RCNN, tienen el potencial de transformar el entorno sanitario avícola al facilitar la detección temprana de enfermedades y realizar prácticas como la identificación de pollos muertos, capaces de procesar grandes volúmenes de datos visuales con alta precisión, lo que puede reducir significativamente la mortalidad en gallineros al permitir una intervención oportuna.

Sin embargo, su efectividad puede verse limitada por factores como la calidad de las imágenes en condiciones de iluminación variable y la necesidad de un entrenamiento adecuado del modelo con datos representativos, sin embargo, la implementación de Edge AI y IoT en la avicultura, ofrece beneficios significativos. Edge AI procesa los datos en el mismo sitio a través del dispositivo, lo que significa que el proceso es más rápido para así prevenir problemas escalables.

Por otro lado, IoT facilita la conectividad entre dispositivos, permitiendo un monitoreo continuo y la recopilación de datos valiosos sobre el comportamiento y el bienestar de los animales.

Entre otras practicas la reducción del químico en la alimentación de los animales, especialmente en los cerdos y el ganado vacuno es una aportación a la gestión y sostenibilidad de la granja, reduciendo así también el impacto ambiental y promoviendo el uso que los recursos que la granja pueda ofrecer para sustituirlo, esto no solo ayuda a disminuir los efectos globales sino que también previene enfermedades en los animales y pérdidas económicas al granjero, además las prácticas con las heces fecales ayudan a fomentar actividades menos invasivas, y a conocer más sobre posibles enfermedades, como prevenirlas o identificarlas.

En la Figura 5. Podemos observar las herramientas de las prácticas que están relacionadas con el alimento animal para ayudar a reducir el uso de componentes dañinos.



Figura 5. Tecnologías para la alimentación
Fuente: Desarrollo propio.

En la figura 6 podemos visualizar herramientas que se han utilizado para monitorear el animal y observar su comportamiento cuando están en manada, al mismo tiempo podemos observar las tecnologías implementadas en la práctica mencionada anteriormente para la detección de pollos sin vida, componentes que ayudan en los procesos con imágenes y en el procesamiento de los datos.



Figura 6. Monitoreo y sostenibilidad
Fuente: Desarrollo propio.

En la Figura 7 observamos las técnicas de visión por computadora

que fueron implementadas para análisis de los datos y monitoreo de la salud, ya que la sostenibilidad no solo engloba que las granjas sean comprometidas con el medio ambiente, sino también con las actividades que allí se realizan y los animales que son comprometidos con éstas.

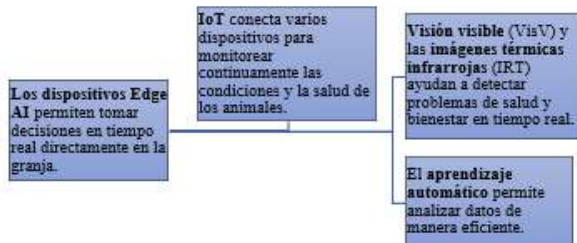


Figura 7. Salud animal y análisis de datos

Fuente: Desarrollo propio.

Como recomendación, se podrían considerar algoritmos de detección de pollos muertos, utilizando RCNN, HPC logrando procesar todas las tareas en un mismo sitio, por otro lado, dispositivos Edge AI, para ayudar a mitigar la alta mortalidad en galpones. Se sugiere también el uso de la Reolink Argus 3 Pro, una cámara económica que investigamos con el propósito de entregar objeciones reales y que pueden ser de utilidad para el granjero promedio, esta cámara consta con panel solar y visión nocturna, que podría ser útil para identificar pollos muertos y monitorear comportamientos nocturnos de los animales contribuyendo al medio ambiente utilizando energía renovable. Además, herramientas como DeepLab podrían ofrecer mejoras en segmentación en comparación con U-Net, mientras que RetinaNet podría superar a YOLOv en precisión para objetos pequeños, mostrándonos otras opciones que pueden mejorar posibles prácticas en investigaciones futuras.

RQ3 estudia las interrogantes en las herramientas que pueden ayudar a los granjeros con sus negocios de materia prima o sus derivados de ella, según los resultados encontrados en la pregunta número 3 se menciona una práctica en la que se detectan pollos con los picos para prevenir enfermedades y no perjudicar su comercialización, si hablamos de animales de granjas los pollos son un negocio que necesita menos tiempo para salir al mercado, por lo que mantenerlos saludables también es un logro para los activos de la granja, en esta práctica se utiliza el modelo de detección YOLOv5 y se crea al mismo tiempo una variable mejorada de este denominado RJ-YOLOv5 quien después de hacer varias comparaciones en esta práctica resultó dar mejores resultados que YOLOv5 al menos en la detección de objetos pequeños, esto no solo sirve como recomendación para futuras prácticas sino que también invita a crear herramientas mejoradas o novedosas a los investigadores que tengan los recursos y el conocimiento para lograrlo, así como la oportunidad de adaptar esta práctica a otras actividades, como por ejemplo la detección de heces fecales de animales

o incluso para detectar insectos en el pelaje de los mismos, lo que ayudaría a ampliar este campo de investigación y el uso de esta versión mejorada de YOLOv5, por otro lado el peso y la calidad de la carne de cerdos en los mercados también prevalece, otro de nuestros resultados obtenidos es el éxito de la práctica para medir la musculaturas del cerdo utilizando herramientas como cámaras Kinect, para videovigilancia de estos, ya que este dispositivo puede detectar el movimiento del animal y el de sus articulaciones y estas también pueden generar mapas y escaneo en 3D, con la idea de evaluar su musculatura corporal, y verificar si están aptos para la comercialización o que parte de su cuerpo podría presentar algún inconveniente, especialmente en sus brazos o piernas sin embargo también existen cámaras como Leap Motion que son mucho más económicas que los sensores Kinect desarrollados por Microsoft y a diferencia de Kinect, Leap fue creada específicamente para el seguimiento de manos y gestos, es más simple, de bajo costo y posee una detección de profundidad más avanzada, por lo que esta es otra de nuestras recomendaciones si existe límite de condición económica para adquirir alguna herramienta tecnológica, técnicas como RGB, resonancia magnética para visualizar internamente el cuerpo del animal y tomografías computarizadas para verificar que no tengan lesiones.

En esta sección también es importante destacar prácticas realizadas como el monitoreo y conteo de animales especialmente los que suelen estar al aire libre, es decir no pasan todo el día en la pocilga, sino que también en los alrededores de las granjas, la salud de animales como las vacas es importante ya que si un animal se enferma afecta la producción de leche, queso, mantequilla o cualquier derivado del lácteo que proporcione la granja para comercialización, finalmente la detección del sexo en animales suele ser un punto importante al momento de comercializar, pues muchas veces va a depender de este factor su costo, herramientas como skc(kernel selective) ha sido de ayuda con los filtros de las imágenes como proceso para el entrenamiento de software o cualquier otra actividad que implique la revisión profunda de éstas, destacamos también la distribución gaussiana en 2D que ayuda con la creación de los datos y el análisis de los mismos.

A pesar de haber expuesto, las diferentes problemáticas y las herramientas que se pueden utilizar para solucionarlas y mejorar el sector afectado, realmente ¿para que sirve la visión por computadora en los agronegocios estadísticamente hablando?, como se menciona en la introducción del presente trabajo, visión por computadora se trata de extraer datos a partir de imágenes y videos, aparte de mejorar las habilidades tecnológicas del hombre, contribuir a la sostenibilidad y apostar en estas tecnologías la salud de los animales, también es de vital importancia en los negocios, pues si se tiene una buena gestión de la granja y una buena administración de los datos, podemos prever, anticipar y mejorar nuestras decisiones y es con este fin que se debe recopilar los datos, para observar un crecimiento en nuestros negocios, que podemos hacer, que no debemos hacer, porque está sucediendo esto, o porque no sucedió aquello, en



que estamos fallando, ¿cuánto conocemos de lo que tenemos? Y si en cierto tiempo podemos mejorarlo, implementando visión por computadora se espera no solo mejorar la toma de decisiones sino tener un registro de todo lo que hemos avanzado con la ayuda de la tecnología.

RQ4 nos responde la inquietante ¿Cómo aporta la tecnología de visión por computadora al bienestar animal?, si bien es un tema que viene preocupando a las personas de cuidados animales, no sabemos mucho de él, en este estudio nos enfocamos principalmente en estudiar tecnologías de visión por computadora que podrían sustituir a los artefactos que sean muy invasivos en la vida animal, para así evitar que su salud se deteriore y lograr que cumpla su ciclo dentro de las granjas, esto no solo ayuda a la salud de los animales, si no que va de la mano con todas las preguntas anteriores, si un animal afecta su salud, también se afecta su comercialización, si no logramos detectar alguna muerte en un gallinero o pocilga podemos causar contaminantes en el ambiente o agua por ende no estaríamos aportando a la sostenibilidad del lugar ni acercando el sector a la tecnología, es por esto que el monitoreo, detección, clasificación entre otras actividades que se pueden realizar con la ayuda de visión por computadora son muy populares en la actualidad, para prácticas realizadas en prevención contra posibles enfermedades se destacan U-net, que es capaz de encontrar heridas, inflamaciones o anomalías en el cuerpo del animal, ayuda también en el análisis del estado físico, ya sea observar el grado de grasa o musculatura de los animales, si se usan imágenes de ultra sonido U-net podría detectar si existe la posibilidad de que el animal tenga algún órgano comprometido como el hígado, pulmón o corazón, YOLOv3, puede detectar movimientos y la presencia de animales en tiempo real, de este modo podría reconocer si un animal cojea, no se mueve mucho, o está en una posición extraña, también ayuda a detectar intrusos como depredadores, que podrían dañar al animal, del mismo modo, puede detectar si hay peleas entre animales de la misma especie o de diferente especie, aquí podría programarse algún tipo de alarma en caso de ser este el caso, las cámaras 3D, podrían sustituir a herramientas que son invasivas en los animales, pues estas no solo ven el entorno, si no que pueden medir su tamaño, forma y volumen para calcular su peso y condición corporal, se puede identificar si algún animal de la manada parece apartado de esta, RetinaNet es una herramienta muy práctica sin duda, ya que puede detectar con precisión problemas de salud en los animales como lo son manchas en la piel, cortes o infecciones, del mismo modo es capaz de identificar a cada animal de un grupo junto y tiene precisión sobre partes exactas del cuerpo, como las orejas, los ojos y las patas, pues en el caso de los cerdos, estos suelen morderse las orejas y las corvas de las patas unos con los otros de manera continua cuando

viven en grupos y finalmente FasterR-CNN puede detectar si los animales están cerca de objetos peligrosos, depende la función que se le quiera asignar, pero está personalmente me parece un aporte significativo si queremos enfatizar en el bienestar de estos.

La salud emocional de los animales también importa, aquí se destacan modelos como CNN y Grand-CAM, que ayudan a analizar cómo se sienten. Además, sugerimos herramientas que hemos investigado como Guided Backpropagation que mejoran la calidad de los análisis y bases de datos como ImageNet permiten entrenar modelos con flexibilidad y es otra opción que se puede tener en cuenta a parte de MS COCO. En general, estas tecnologías buscan cuidar tanto la salud física como el bienestar emocional de los animales para un enfoque más completo en su cuidado.

4. Conclusiones

La revisión sistemática está fundamentada en 60 artículos sobre tecnologías basadas en visión por computadora en la ganadería subrayando su creciente relevancia en el monitoreo y control de animales de granja, ofreciendo múltiples beneficios que van más allá de la simple observación. Las tecnologías analizadas mejoran significativamente la detección y análisis de enfermedades, optimizando el entorno de cría y contribuyendo al bienestar animal.

La automatización de tareas se traduce en una reducción de la carga laboral de los agricultores, mejorando su salud y seguridad en el trabajo. Aunque los desafíos climáticos persisten, la integración de tecnologías avanzadas, como YOLOv, U-Net y Edge AI, está transformando la agricultura en un modelo más inteligente y eficiente. Sin embargo, se ha identificado una brecha digital en áreas rurales que limita el acceso a estas innovaciones; para abordar esto, se proponen soluciones como internet inalámbrico de alta velocidad.

En el ámbito sanitario, herramientas como Mask-RCNN permiten una detección temprana de enfermedades avícolas, lo que puede reducir drásticamente la mortalidad.

También se hace énfasis en la importancia de la calidad de las imágenes y el entrenamiento adecuado de los modelos para maximizar su efectividad.

En cuanto a la comercialización, la visión por computadora se presenta como un recurso esencial para evaluar la salud y el sexo de los animales, optimizando así los procesos de venta.

Finalmente, la investigación sobre el bienestar animal, que incluye la predicción del ciclo reproductivo y la identificación de lesiones, demuestra un enfoque integral que abarca tanto la salud física como emocional de los animales.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento al sector enfocado, en particular a los ganaderos, quienes generosamente compartieron su perspectiva y experiencias durante nuestras conversaciones, su experiencia con la tecnología, especialmente en el ámbito de la visión por computadora, ha sido esencial para este trabajo. Gracias a su colaboración, hemos podido identificar y abordar de manera más efectiva las necesidades del sector, lo que ha enriquecido significativamente nuestros hallazgos.

Contribución de los autores

Jeidy Katherine Reyes Zambrano: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Recursos, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. **María Genoveva Moreira Santos:** Administración del proyecto, Supervisión, Validación.

Conflictos de interés

Los autores no tienen conflictos de intereses.

Referencias bibliográficas

- Abd Aziz, N. S. N., Mohd Daud, S., Dziyauddin, R. A., Adam, M. Z., & Azizan, A. (2021). A Review on Computer Vision Technology for Monitoring Poultry Farm - Application, Hardware, and Software. In *IEEE Access* (Vol. 9, pp. 12431–12445). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.304781826>
- Allueva Molina, Q., Ko, H. L., Gómez, Y., Manteca, X., & Llonch, P. (2023b). Comparative study between scan sampling behavioral observations and an automatic monitoring image system on a commercial fattening pig farm. *Frontiers in Animal Science*, 4 1248972. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1248972>
- Allueva Molina, Q., Ko, H. L., Gómez, Y., Manteca, X., & Llonch, P. (2023a). Comparative study between scan sampling behavioral observations and an automatic monitoring image system on a commercial fattening pig farm. *Frontiers in Animal Science*, 4 1248972. <https://doi.org/10.3389/FANIM.2023.1248972/BIBTEX>
- Almadani, I., Ramos, B., Abuhussein, M., & Robinson, A. L. (2024). Advanced Swine Management: Infrared Imaging for Precise Localization of Reproductive Organs in Livestock Monitoring. *Digital*, 4(2) 446–460. <https://doi.org/10.3390/digital4020022>
- Alsahaf, A., Azzopardi, G., Ducro, B., Hanenberg, E., Veerkamp, R. F., & Petkov, N. (2019). Estimation of Muscle Scores of Live Pigs Using a Kinect Camera. *IEEE Access*, 7 52238–52245. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2910986>
- Atkinson, G. A., Smith, L. N., Smith, M. L., Reynolds, C. K., Humphries, D. J., Moorby, J. M., Leemans, D. K., & Kingston-Smith, A. H. (2020). A computer vision approach to improving cattle digestive health by the monitoring of faecal samples (google translator, Trans.). *Scientific Reports*, 10(1) 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74511-0>
- Bergman, N., Yitzhaky, Y., & Halachmi, I. (2024). Biometric identification of dairy cows via real-time facial recognition. *Animal*, 18(3) 101079. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101079>
- Bery, S., Brown-Brandl, T. M., Jones, B. T., Rohrer, G. A., & Sharma, S. R. (2023). Determining the Presence and Size of Shoulder Lesions in Sows Using Computer Vision. *Animals*, 14(1) 131. <https://doi.org/10.3390/ANI14010131>
- Bhuiyan, M. R., & Wree, P. (2023). Animal Behavior for Chicken Identification and Monitoring the Health Condition Using Computer Vision: A Systematic Review (google translator, Trans.). *IEEE Access*, 11 126601–126610. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3331092>
- Braithwaite, I., Blanke, M., Zhang, G. Q., & Carstensen, J. M. (2005). Design of a vision-based sensor for autonomous pig house cleaning (google translate, Trans.). *Eurasip Journal on Applied Signal Processing*, 2005(13) 2005–2017. <https://doi.org/10.1155/ASP.2005.2005/METRICS>
- Caffarini, J. G., Bresolin, T., & Dorea, J. R. R. (2022). Predicting ribeye area and circularity in live calves through 3D image analyses of body surface. *Journal of Animal Science*, 100(9) skac242. <https://doi.org/10.1093/jas/skac242>
- Cakic, S., Popovic, T., Krco, S., Nedic, D., Babic, D., & Jovovic, I. (2023). Developing Edge AI Computer Vision for Smart Poultry Farms Using Deep Learning and HPC. *Sensors*, 23(6) 3002. <https://doi.org/10.3390/S23063002>
- Chae, J. W., Sim, H. S., Lee, C. W., Choi, C. S., & Cho, H. C. (2024). Video-Based Analysis of Cattle Behaviors: Improved Classification Using FlowEQ Transform (google translator, Trans.). *IEEE Access*, 12 42860–42867. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3379277>
- Chakraborty, S., Karthik, K., & Banik, S. (2021). Graph Synthesis for Pig Breed Classification from Muzzle Images. *IEEE Access*, 9 127240–127258. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3111957>
- Chen, C. P. J., Morota, G., Lee, K., Zhang, Z., & Cheng, H. (2022a). VTag: a semi-supervised pipeline for tracking pig activity with a single top-view camera (google translator, Trans.). *Journal of Animal Science*, 100(6) 1–10. <https://doi.org/10.1093/jas/skac147>
- Chen, C. P. J., Morota, G., Lee, K., Zhang, Z., & Cheng, H.



- (2022b). VTag: a semi-supervised pipeline for tracking pig activity with a single top-view camera. *Journal of Animal Science*, 100(6) 1–10. <https://doi.org/10.1093/jas/skac147>
- Dos Santos, C. A., Landim, N. M. D., de Araújo, H. X., & Paim, T. D. P. (2022). Automated Systems for Estrous and Calving Detection in Dairy Cattle. *AgriEngineering*, 4(2) 475–482. <https://doi.org/10.3390/AGRIENGINEERING4020031>
- Fang, C., Zheng, H., Yang, J., Deng, H., & Zhang, T. (2022). Study on Poultry Pose Estimation Based on Multi-Parts Detection. *Animals*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/ani12101322>
- Feng, W., Wang, K., & Zhou, S. (2023). An Efficient Neural Network for Pig Counting and Localization by Density Map Estimation. *IEEE Access*, 11 81079–81091. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3297141>
- Fernandes, A. F. A., Dórea, J. R. R., & Rosa, G. J. de M. (2020). Image Analysis and Computer Vision Applications in Animal Sciences: An Overview. *Frontiers in Veterinary Science*, 7 551269. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2020.551269/BIBTEX>
- Ferri, F., Yopez, J., Ahadi, M., Wang, Y., Ko, R., Seddon, Y. M., & Ko, S. B. (2024). Enhancing welfare assessment: Automated detection and imaging of dorsal and lateral views of swine carcasses for identification of welfare indicators. *Computers and Electronics in Agriculture*, 222 109058. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109058>
- Fuentes, S., Viejo, C. G., Chauhan, S. S., Joy, A., Tongson, E., & Dunshea, F. R. (2020). Non-invasive sheep biometrics obtained by computer vision algorithms and machine learning modeling using integrated visible/infrared thermal cameras. *Sensors (Switzerland)*, 20(21), 1–18. <https://doi.org/10.3390/s20216334>
- Guo, Y., Aggrey, S. E., Wang, P., Oladeinde, A., & Chai, L. (2022). Monitoring Behaviors of Broiler Chickens at Different Ages with Deep Learning. *Animals*, 12(23) 3390. <https://doi.org/10.3390/ani12233390>
- Hansen, M. F., Baxter, E. M., Rutherford, K. M. D., Futro, A., Smith, M. L., & Smith, L. N. (2021). Towards Facial Expression Recognition for On-Farm Welfare Assessment in Pigs. *Agriculture*, 11(9) 847. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11090847>
- Hayden, M. A., Barim, M. S., Weaver, D. L., Elliott, K. C., Flynn, M. A., & Lincoln, J. M. (2022). Occupational Safety and Health with Technological Developments in Livestock Farms: A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24) 16440. <https://doi.org/10.3390/IJERPH192416440>
- Hervy Paternina Pedroza, José Linares Morales, & Katherine Hernández Ayala. (2019). Transferencia de tecnología y conocimientos en el sector explotador de bovinos. *Google Scholar*, 4(1) 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.25214/27114406.936>
- Jorquera-Chavez, M., Fuentes, S., Dunshea, F. R., Warner, R. D., Poblete, T., & Jongman, E. C. (2019). Modelling and validation of computer vision techniques to assess heart rate, eye temperature, ear-base temperature and respiration rate in cattle (google translator, Trans.). *Animals*, 9(12) 18. <https://doi.org/10.3390/ani9121089>
- Juárez, R. J. (2023). Ganadería de precisión, una revisión a los avances dentro de la avicultura enfocados a la crianza de pollos de engorde. *Prisma Tecnológico*, 14(1), 38–48. <https://doi.org/10.33412/pri.v14.1.3652>
- Kim, J., Suh, Y., Lee, J., Chae, H., Ahn, H., Chung, Y., & Park, D. (2022). EmbeddedPigCount: Pig Counting with Video Object Detection and Tracking on an Embedded Board (google translators, Trans.). *Sensors*, 22(7) 1–17. <https://doi.org/10.3390/s22072689>
- Lee, S., Ahn, H., Seo, J., Chung, Y., Park, D., & Pan, S. (2019). Practical Monitoring of Undergrown Pigs for IoT-Based Large-Scale Smart Farm (google translator, Trans.). *IEEE Access*, 7 173796–173810. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2955761>
- Lei, K., Zong, C., Du, X., Teng, G., & Feng, F. (2021). Oestrus Analysis of Sows Based on Bionic Boars and Machine Vision Technology. *Animals*, 11(6) 1485. <https://doi.org/10.3390/ANI11061485>
- Li, K., Teng, G., Wang, J., Zhang, Y., Gao, L., & Feng, H. (2024). Body Condition Scoring of Dairy Cows Based on Feature Point Location. *IEEE Access*, 12 5270–5283. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3349320>
- Li, G., Huang, Y., Chen, Z., Chesser, G. D., Purswell, J. L., Linhoss, J., & Zhao, Y. (2021). Practices and applications of convolutional neural network-based computer vision systems in animal farming: A review. *Sensors*, 21(4) 1–42. <https://doi.org/10.3390/s21041492>
- Marcos Dario Aranda. (2022, October 3). Vista de Aprendizaje Automático aplicado a la calidad del desarrollo en

- la ganadería de precisión. AKAJEA. <https://doi.org/10.33414/ajea.1040.2022>
- Morota, G., Ventura, R. V., Silva, F. F., Koyama, M., & Fernando, S. C. (2018). Big data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *Journal of Animal Science*, 96(4) 1540–1550. <https://doi.org/10.1093/jas/sky014>
- Na, M. H., Cho, W. H., Kim, S. K., & Na, I. S. (2022). Automatic Weight Prediction System for Korean Cattle Using Bayesian Ridge Algorithm on RGB-D Image. *Electronics*, 11(10) 1–22. <https://doi.org/10.3390/electronics11101663>
- Nakrosis, A., Paulauskaite-Taraseviciene, A., Raudonis, V., Narusis, I., Gruzauskas, V., Gruzauskas, R., & Lagzdinyte-Budnike, I. (2023). Towards Early Poultry Health Prediction through Non-Invasive and Computer Vision-Based Dropping Classification. *Animals*, 13(19) 1. <https://doi.org/10.3390/ani13193041>
- Odo, A., Muns, R., Boyle, L., & Kyriazakis, I. (2023). Video Analysis Using Deep Learning for Automated Quantification of Ear Biting in Pigs (google translator, Trans.). *IEEE Access*, 11 59744–59757. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3285144>
- Paudel, S., de Sousa, R. V., Sharma, S. R., & Brown-Brandl, T. (2023). Deep Learning Models to Predict Finishing Pig Weight Using Point Clouds. *Animals*, 14(1) 31. <https://doi.org/10.3390/ANI14010031>
- Pretto, A., Savio, G., Gottardo, F., Uccheddu, F., & Concheri, G. (2024). A novel low-cost visual ear tag based identification system for precision beef cattle livestock farming (google translator, Trans.). *Information Processing in Agriculture*, 11(1) 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.10.003>
- Pu, J., Yu, C., Chen, X., Zhang, Y., Yang, X., & Li, J. (2022). Research on Chengdu Ma Goat Recognition Based on Computer Vision (google translation, Trans.). *Animals*, 12(14) 1746. <https://doi.org/10.3390/ANI12141746>
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2021). Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review (google translator, Trans.). *IEEE Access*, 9 4843–4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
- Unal, Z. (2020). Smart Farming Becomes even Smarter with Deep Learning - A Bibliographical Analysis (Google Translator, Trans.). *IEEE Access*, 8 105587–105609. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000175>
- Urquilla Castaneda, A., Matías Delgado, J., Salvador, E., & Gavidia, F. (2023). ¿Será la Agricultura 4.0 la solución al hambre global? Will Agriculture 4.0 be the solution to global hunger? CENtroAmériCA. *rEviStA SEmESTrAl ENero-Junio*, 23. <https://doi.org/10.5377/ryr.v1i57.16696>
- Wurtz, K., Camerlink, I., D'Eath, R. B., Fernández, A. P., Norton, T., Steibel, J., & Siegford, J. (2019). Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review (español, Trans.). *PLoS ONE*, 14(12) 1–35. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226669>
- Yao, Y., Yu, H., Mu, J., Li, J., & Pu, H. (2020). Estimation of the Gender Ratio of Chickens Based on Computer Vision: Dataset and Exploration. *Entropy*, 22(7) 719. <https://doi.org/10.3390/E22070719>
- You, M., Liu, J., Zhang, J., Xu, M., & He, D. (2020). A novel chicken meat quality evaluation method based on color card localization and color correction (google translator, Trans.). *IEEE Access*, 8 170093–170100. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2989439>
- Zhang, W., Wang, Y., Guo, L., Falzon, G., Kwan, P., Jin, Z., Li, Y., & Wang, W. (2024). Analysis and Comparison of New-Born Calf Standing and Lying Time Based on Deep Learning (google translator, Trans.). *Animals*, 14(9) 1–15. <https://doi.org/10.3390/ani14091324>
- Zu, L., Chu, X., Wang, Q., Ju, Y., & Zhang, M. (2023). Joint Feature Target Detection Algorithm of Beak State Based on YOLOv5 (google translator, Trans.). *IEEE Access*, 11 64458–64467. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.327543229>



Estudio Comparativo de Herramientas de Inteligencia Artificial y su Incidencia en el Desarrollo Web: Un Enfoque Basado en Angular y Node.js

Comparative Study of Artificial Intelligence Tools and Their Impact on Web Development: An Approach Based on Angular and Node.js

Autores

* **Dustin Adrian Cabrera Lavayen**

✉ dcabrera4@utmachala.edu.ec

Ricardo Josue Cabrera Calderón

✉ rcabrera4@utmachala.edu.ec

Joofre Antonio Honores Tapia

✉ jhonores@utmachala.edu.ec

John Patricio Orellana Preciado

✉ jporellana@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala,
Facultad de Ingeniería Civil, Machala,
El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Cabrera Lavayen, D.A., Cabrera Calderón, R.J., Honores Tapia, J.A. & Orellana Preciado, J.P. 2025. Estudio Comparativo de Herramientas de Inteligencia Artificial y su Incidencia en el Desarrollo Web: Un Enfoque Basado en Angular y Node.js. *Informática y Sistemas*, 9(1), 30-40. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7345>

Enviado: 18/02/2025

Aceptado: 31/03/2025

Publicado: 04/04/2025

Resumen

Este artículo presenta un estudio comparativo de herramientas de inteligencia artificial (IA) para el desarrollo web, enfocándose en Angular y Node.js. Se analizaron ChatGPT, Gemini, GitHub Copilot y DeepSeek, evaluando su capacidad para generar código funcional mediante SonarQube. Se implementó un caso práctico basado en un sistema de facturación, donde se evaluó métricas clave como mantenibilidad, fiabilidad y seguridad. Los resultados indican que todas las herramientas a nivel de backend generan un código mantenible y fiable, aunque se lograron identificar vulnerabilidades de seguridad menores. La generación del frontend presentó más inconvenientes en términos de fiabilidad y mantenibilidad, identificando errores comunes como la declaración de variables sin reasignación y presencia de archivos vacíos. ChatGPT y DeepSeek destacaron en la usabilidad y en la resolución de errores, mientras que GitHub Copilot y Gemini mostraron limitaciones en la etapa del desarrollo. El estudio concluye que, si bien estas herramientas mejoran la productividad y reducen la carga de codificación manual, dependen en gran medida de la precisión y detalle de las instrucciones proporcionadas por el desarrollador y de la supervisión humana para garantizar calidad y seguridad del software.

Palabras clave: Inteligencia artificial; generación de código; Angular; Node.js

Abstract

This article presents a comparative study of artificial intelligence (AI) tools for web development, focusing on Angular and Node.js. ChatGPT, Gemini, GitHub Copilot, and DeepSeek were analyzed, evaluating their ability to generate functional code using SonarQube. A practical case study based on a billing system was implemented, assessing key metrics such as maintainability, reliability, and security. The results indicate that all backend tools generate maintainable and reliable code, although minor security vulnerabilities were identified. Frontend generation posed more challenges in terms of reliability and maintainability, with common issues such as variable declarations without reassignment and the presence of empty files. ChatGPT and DeepSeek excelled in usability and error resolution, while GitHub Copilot and Gemini showed limitations during the development stage. The study concludes that while these tools enhance productivity and reduce the manual coding workload, they heavily depend on the precision and detail of the instructions provided by the developer, as well as human supervision to ensure software quality and security.

Keywords: Artificial intelligence; code generation; Angular; Node.js; case study.



1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha evolucionado notablemente desde sus inicios, posicionándose como una herramienta indispensable en la sociedad moderna; partiendo de sus primeras aplicaciones en sistemas expertos en el siglo XX, hasta los recientes avances en Machine Learning (ML) y Aprendizaje Profundo (Deep Learning, DL) (Abeliuk & Gutiérrez, 2021; Colther & Doussoulin, 2024). Este crecimiento ha sido posible gracias al aumento en la capacidad de procesos, la disponibilidad de grandes volúmenes de datos y la mejora en los algoritmos, lo que ha permitido que la IA no solo resuelva problemas específicos, sino que también se convierta en una ayuda clave para la automatización y optimización de procesos en diversos sectores del campo informático (France, 2024; Roman Gallardo et al., 2024; Tao et al., 2019). Además, según Usman Hadi et al. (2024) los modelos de lenguaje han sido fundamentales para superar las barreras tradicionales en la interacción humano-máquina, ofreciendo niveles sin precedentes de precisión y contextualización en tareas complejas.

En el ámbito tecnológico, los Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM, por sus siglas en inglés, Large Language Models) han redefinido las capacidades de la IA al posibilitar la generación de texto, código y contenido visual de manera autónoma; herramientas como ChatGPT y Gemini se destacan como ejemplos sobresalientes de estas tecnologías, ya que han sido diseñadas para interactuar con los usuarios en tareas complejas como la programación, la creación de contenido y el análisis de datos (Kuhail et al., 2024; Muthumanikandan & Ram, 2024). En este contexto, DeepSeek emerge como un LLM de código abierto que ha demostrado un alto rendimiento en tareas de razonamiento, pero con la ventaja de ser más eficiente en termino de costos computacionales (Mercer et al., 2025).

ChatGPT basado en la arquitectura Generative Pre-trained Transformer (GPT), ha demostrado una notable capacidad para comprender el lenguaje natural y generar respuestas coherentes y detalladas, mientras que Gemini se posiciona como un fuerte competidor en la generación de código y en el análisis avanzado de datos, ampliando significativamente el alcance de los LLM en aplicaciones prácticas (Cho et al., 2025; Muthumanikandan & Ram, 2024; Siam et al., 2024). Al igual que ChatGPT, DeepSeek ha demostrado un alto rendimiento en la generación de código con la capacidad de producir resúmenes de código de alta calidad (Afrin et al., 2025). La arquitectura de DeepSeek basada en Mixture-of-Experts (MoE) y Reinforcement Learning (RL), le ha permitido alcanzar resultados notables en tareas de matemáticas y codificación (DeepSeek-AI et al., 2024).

Por otra parte, GitHub Copilot ha revolucionado la experiencia de los desarrolladores al integrarse directamente en los entornos de desarrollo y ofrecer funcionalidades avanzadas como autoempleado inteligente, generación de fragmentos de código y sugerencias de mejora, lo que ha permitido acelerar los ciclos de desarrollo y reducir errores humanos incrementando la productividad en un 28% en tareas repetitivas y complejas, sin embargo, es importante tener en cuenta que la efectividad depende de la calidad de las indicaciones proporcionadas por el desarrollador y que una confianza excesiva en la herramienta puede generar código incorrecto o inseguro (France, 2024; Ng et al., 2024).

En este contexto, el impacto de la IA en el desarrollo de software ha trascendido su rol inicial como herramienta de automatización para convertirse en un componente importante en procesos como la detección de errores, la generación de pruebas y la gestión de proyectos, lo que ha permitido no solo reducir los tiempos de desarrollo, sino también mejorar la calidad de los productos finales (Hegde & G, 2024; Leung & Murphy, 2023; Roman Gallardo et al., 2024).

En el área del desarrollo web, la IA ha demostrado ser una herramienta clave para mejorar la escalabilidad y la optimización de aplicaciones, ya que tecnologías como los chatbots impulsados por LLM y herramientas de diseño asistido han permitido a los desarrolladores enfrentar retos complejos, como la gestión de grandes volúmenes de datos y la mejora de la experiencia del usuario; asimismo, estas tecnologías han facilitado la implementación de metodologías ágiles en entornos multicapas, donde la interacción eficiente entre el servidor y el cliente resulta esencial (Balsam & Mishra, 2025; Muthumanikandan & Ram, 2024; Savani, 2023). En este aspecto, frameworks modernos como Angular y Node.js han ocupado un papel importante en la construcción de aplicaciones web robustas y escalables.

Por una parte; Angular, con su enfoque basado en componentes, facilita la creación de aplicaciones estructuradas y mantenibles; mientras que, por otro lado, Node.js con su arquitectura orientada a eventos, permite manejar grandes volúmenes de solicitudes simultáneas con un alto rendimiento, garantizando así una experiencia de usuario más eficiente y fluida (Ollila et al., 2022; Rahikainen, 2021).

Además, investigaciones recientes han señalado que estos modelos no solo han mejorado tareas existentes, sino que también han abierto nuevas posibilidades en la comunicación y el procesamiento de datos a gran escala, así como en sectores como la educación y la industria, al proporcionar retroalimentación personalizada, aumentar la productividad y reducir significativamente los tiempos de desarrollo (Chandramouli et al., 2022; Mao & Li, 2024;

Rahikainen, 2021; Usman Hadi et al., 2024). Sin embargo, esta integración enfrenta desafíos significativos relacionados con la confiabilidad del código generado, la seguridad del software y el manejo de sesgos en los modelos entrenados, lo que exige una supervisión adecuada para mitigar riesgos inherentes al uso de estas herramientas (Chandramouli et al., 2022; Tao et al., 2019).

En consecuencia, a partir de los trabajos relacionados, se plantea la hipótesis de que, el uso de herramientas de IA como ChatGPT, Gemini, GitHub Copilot y DeepSeek mejoran la calidad del código en el campo de seguridad, mantenibilidad y Fiabilidad, al tiempo que facilitan la escritura y optimización del código, reduciendo la memorización del desarrollador bajo las evaluaciones de SonarQube. Por esta razón resulta fundamental desarrollar fases sistemáticas que permitan evaluar de manera objetiva el impacto de estas herramientas en el desarrollo de software moderno.

Este artículo tiene como objetivo desarrollar un caso práctico con requerimientos específicos para Angular y Node.js a fin de que las herramientas de IA generen código para cumplir cada uno de los requisitos y así evaluar la calidad del código generado, utilizando SonarQube como base para realizar una evaluación estructurada. Este análisis considerará métricas clave que permitirán obtener una visión integral del desempeño de estas tecnologías, facilitando la identificación tanto de fortalezas como de limitaciones y proporcionando una base sólida para comprender su impacto y utilidad en el contexto del desarrollo moderno de software.

2. Materiales y Métodos

Se adoptó un enfoque experimental y comparativo, estructurado en cuatro fases que permitieron analizar las capacidades de herramientas seleccionadas en entornos controlados. Este diseño buscó proporcionar una visión integral del desempeño de estas tecnologías mediante métricas estandarizadas.



Figura 1. Fases Metodológicas.
Fuente: Los autores



Figura 2. Herramientas de IA identificadas.
Fuente: Los autores

Fase 1: Identificación de las herramientas de IA

Se realizó una investigación sobre diversos estudios para seleccionar las herramientas más relevantes en el desarrollo web. Los criterios incluyeron su relevancia, popularidad y capacidad documentada para tareas específicas como generación de código y análisis avanzado de datos. Las herramientas seleccionadas fueron:

1. **ChatGPT 4o**, reconocido por generar texto y código de forma contextualizada y coherente (Muthumanikandan & Ram, 2024; Usman Hadi et al., 2024).
2. **Gemini**, especializado en generación de código avanzado y análisis de datos complejos (Cho et al., 2025; Siam et al., 2024).
3. **GitHub Copilot**, impulsado por OpenAI Codex, conocido por sus sugerencias de código en tiempo real en entornos de desarrollo integrados (IDEs) (Ng et al., 2024; Ollila et al., 2022).
4. **DeepSeek** por mostrar un rendimiento competitivo en comparación con otros LLM de código abierto, tanto en la generación de código y razonamiento matemático (DeepSeek-AI et al., 2024).

Fase 2: Desarrollo del entorno experimental



Figura 3. Herramientas para el entorno experimental.
Fuente: Los autores

El entorno experimental consistió en desarrollar un Sistema de Facturación para Pequeñas Empresas utilizando Angular 17 (standalone) en frontend y Node.js con Express en backend, utilizando MongoDB como base de datos. Las funcionalidades implementadas incluyeron:

Fase 3: Evaluación de métricas

En esta fase se evaluó la calidad del código generado por las herramientas de IA seleccionadas, usando SonarQube que es una herramienta ampliamente utilizada en la industria del software.



Tabla 1. Requerimientos del Caso Práctico.

Fuente: Los autores

Módulo	Frontend (Angular 17 - Standalone, Bootstrap 5)	Backend (Node.js + MongoDB)
Autenticación y Usuarios	- Formulario de inicio de sesión con validaciones.	- API REST para registro e inicio de sesión.
	- Guards para proteger rutas según el rol.	- JWT para autenticación y middleware para proteger rutas.
Gestión de Productos (CRUD)	- Gestión de sesiones con JWT y LocalStorage.	- Encriptación de contraseñas con bcrypt.
	- Formulario para crear, editar y eliminar productos.	- API REST para CRUD de productos.
Gestión de Clientes (CRUD)	-	- Express Validator para validaciones.
	-	- Stock reducido automáticamente al generar una factura.
Gestión de Facturación	- Formulario para registrar y editar clientes.	- API REST para CRUD de clientes.
	-	- Validaciones de email y teléfono.
Reportes y Estadísticas	- Formulario de facturación con selección de cliente y productos.	- API REST para crear y listar facturas.
	- Cálculo de subtotal, impuestos y total.	- Stock reducido automáticamente al registrar la venta.
	- Descarga de factura en PDF.	- Generación de PDF en backend para descarga.
	- Dashboard con gráficos de ventas y productos más vendidos.	- API REST para reportes de ventas y estadísticas.
	- Opción para exportar reportes en Excel.	- Exportación de datos en Excel.

Tabla 2. Modelo Usuario.

Fuente: Los autores

Atributo	Tipo de Dato	Descripción
_id	ObjectId	Identificador único (generado por MongoDB).
nombre	String	Nombre completo del usuario.
email	String	Correo electrónico del usuario (único).
password	String	Contraseña encriptada con bcrypt.
rol	String	Rol del usuario (admin o usuario).

Tabla 4. Modelo Cliente.

Fuente: Los autores

Atributo	Tipo de Dato	Descripción
_id	ObjectId	Identificador único (generado por MongoDB).
nombre	String	Nombre completo del cliente.
email	String	Correo electrónico del cliente.
telefono	String	Número de teléfono del cliente.
direccion	String	Dirección del cliente.
createdAt	Date	Fecha de creación (generada automáticamente).

Tabla 3. Modelo Producto.

Fuente: Los autores

Atributo	Tipo de Dato	Descripción
_id	ObjectId	Identificador único (generado por MongoDB).
nombre	String	Nombre del producto.
descripcion	String	Descripción corta del producto.
precio	Number	Precio del producto.
stock	Number	Cantidad disponible en inventario.
createdAt	Date	Fecha de creación (generada automáticamente).

Según Software Qualities | SonarQube Docs (n.d.), un código limpio debe ser mantenible, confiable y seguro, ya que dichas cualidades garantizan su sostenibilidad a largo plazo y reducen los costos de mantenimiento y corrección de errores.

Para esta evaluación, el estudio se centra en tres métricas claves que SonarQube utiliza para determinar la calidad del software:

1. **Mantenibilidad:** Se refiere a la facilidad con la que se puede reparar, mejorar y comprender el código fuente. Un código mantenible permite una evolución más sencilla y económica del software.

2. **Fiabilidad:** Mide la capacidad del software de mantener su

Tabla 5. Modelo Factura.
Fuente: Los autores

Atributo	Tipo de Dato	Descripción
_id	ObjectId	Identificador único (generado por MongoDB).
cliente	ObjectId	Referencia al cliente asociado a la factura.
productos	Array	Lista de productos vendidos.
productos[*]._id	ObjectId	ID del producto vendido.
productos[*].nombre	String	Nombre del producto.
productos[*].cantidad	Number	Cantidad vendida del producto.
productos[*].precio_unitario	Number	Precio unitario del producto.
subtotal	Number	Suma del costo de los productos antes de impuestos.
impuesto	Number	Monto del impuesto aplicado a la venta.
total	Number	Monto total de la factura.
createdAt	Date	Fecha de emisión de la factura (generada automáticamente).

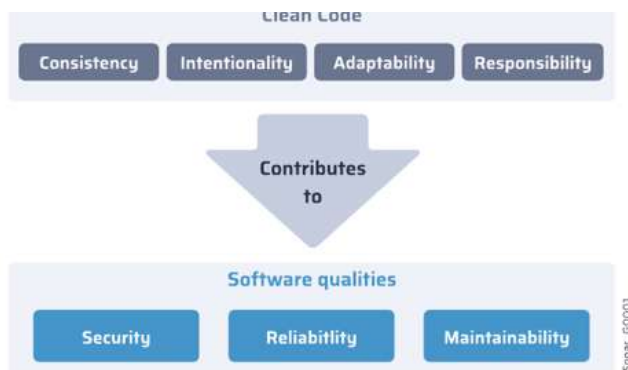


Figura 4. Cualidades del software.

Fuente: (Software Qualities | SonarQube Docs, n.d.)

nivel de rendimiento bajo condiciones establecidas durante un periodo de tiempo determinado. Un software confiable funciona sin fallos críticos que puedan interrumpir su operación.

3. Seguridad: Evalúa la protección del software contra accesos no autorizados, uso indebido o destrucción. Un código seguro previene vulnerabilidades que podrían ser explotadas, asegurando la integridad y confidencialidad de la aplicación.

La Figura 5 presenta el flujo de evaluación que SonarQube utiliza para determinar la calidad del código basado en el concepto de código limpio.

El proceso comienza con la evaluación de atributos de código limpio, los cuales se analizan mediante reglas de codificación diseñadas para un lenguaje específico.

Cuando la regla de codificación identifica un problema se genera un problema de código que hereda los atributos del código limpio afectados. Posteriormente, el impacto de ese problema es evaluado en una o varias métricas de calidad del software (mantenibilidad, fiabilidad y seguridad).

Finalmente, a cada problema identificado se le asigna un nivel de severidad, indicando su impacto en la calidad general del software.

A continuación, las métricas específicas que se utilizaron para evaluar el código se presentan en las tablas correspondientes, adaptadas de la documentación oficial de SonarQube.

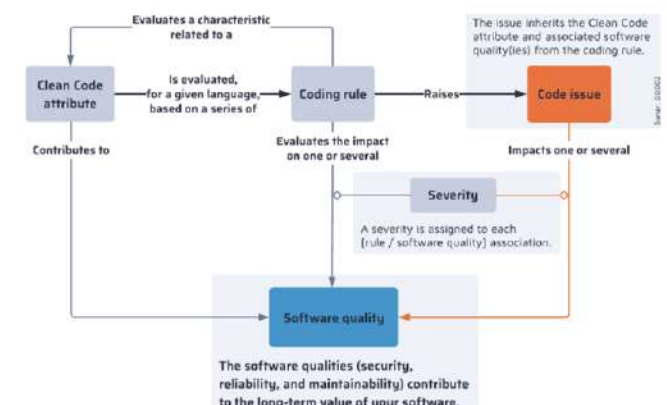


Figura 5. Proceso de análisis de código en SonarQube.

Fuente: (Clean-Code-Based Analysis | SonarQube Docs, n.d.)

Fase 4: Análisis de resultados

Los resultados obtenidos se basaron en los datos proporcionados por SonarQube.

A partir de estos datos se comparó el desempeño de ChatGPT, Gemini, GitHub Copilot y DeepSeek evaluando su capacidad de generar código funcional.

Tabla 6. Mantenibilidad.
Fuente: (Code Metrics & SonarQube, n.d.)

Métrica	Definición
Problemas	El número total de problemas que afectan la mantenibilidad (problemas de mantenibilidad).
Deuda técnica	Una medida del esfuerzo necesario para solucionar todos los problemas de mantenibilidad.
Ratio de deuda técnica	Relación entre el costo de desarrollo del software y el costo de reparación.
Calificación de mantenibilidad	La calificación relacionada con el valor del ratio de deuda técnica.

Tabla 7. Fiabilidad.
Fuente: (Code Metrics & SonarQube, n.d.)

Métrica	Definición
Problemas	El número total de problemas que afectan la confiabilidad (problemas de confiabilidad).
Calificación de confiabilidad	Calificación relacionada con la confiabilidad. La escala de calificación es la siguiente: A = 0 error B = al menos un error menor C = al menos un error mayor D = al menos un error crítico E = al menos un error bloqueador
Esfuerzo de remediación de confiabilidad	El esfuerzo necesario para solucionar todos los problemas de confiabilidad. El costo de remediación de un problema se basa en el esfuerzo (en minutos) asignado a la regla que generó el problema. Se asume una jornada de 8 horas cuando los valores se muestran en días.

Los valores obtenidos fueron organizados en tablas y gráficos, facilitando la interpretación y permitiendo una discusión detallada sobre las fortalezas y debilidades en relación con la generación de código y uso de estas herramientas de IA.

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis de la Evaluación de Métricas con SonarQube

Los resultados obtenidos en la evaluación de SonarQube en el backend reflejan que todas las herramientas de IA generan un código mantenible y confiable, sin embargo, se observa que la seguridad del código está comprometida, debido a 2 errores encontrados en la evaluación.

Tabla 8. Seguridad.
Fuente: (Code Metrics & SonarQube, n.d.)

Métrica	Definición
Problemas	El número total de problemas de seguridad (también llamados vulnerabilidades).
Calificación de seguridad	Calificación relacionada con la seguridad. La escala de calificación es la siguiente: A = 0 vulnerabilidad B = al menos una vulnerabilidad menor C = al menos una vulnerabilidad mayor D = al menos una vulnerabilidad crítica E = al menos una vulnerabilidad bloqueadora
Esfuerzo de remediación de seguridad	El esfuerzo necesario para solucionar todas las vulnerabilidades. El costo de remediación de un problema se basa en el esfuerzo (en minutos) asignado a la regla que generó el problema. Se asume una jornada de 8 horas cuando los valores se muestran en días.
Puntos críticos de seguridad	El número de puntos críticos de seguridad.
Puntos críticos de seguridad revisados	El porcentaje de puntos críticos de seguridad revisados en relación con el número total de puntos críticos de seguridad.
Calificación de revisión de seguridad	La calificación de revisión de seguridad es una letra basada en el porcentaje de puntos críticos de seguridad revisados. Se consideran revisados si están marcados como Reconocidos, Corregidos o Seguros. A = $\geq 80\%$ B = $\geq 70\%$ y $< 80\%$ C = $\geq 50\%$ y $< 70\%$ D = $\geq 30\%$ y $< 50\%$ E = $< 30\%$

Tabla 9. Ajustes de SonarQube.
Fuente: Los Autores.

Característica	Descripción
Versión	10.7
Configuración	Se usó la configuración global que viene por defecto y se seleccionó el tipo de lenguaje que se indicaba una opción donde salían varios lenguajes entre ellos el TypeScript y JavaScript.
Extras	SonarQube detecta que se usa angular por lo cual evita analizar los archivos generados por Angular como las configuraciones y otros que sean necesarios para el uso del framework. Para el caso del backend se agrega que no analice la carpeta de los node modules, debido que son bibliotecas externas, que no fueron generadas por IA.

Estos problemas a simple vista pueden parecer inofensivos, de hecho, así lo dice SonarQube indicando que no son de prioridad alta, pero que no se deben pasar por alto. El primer error es debido al uso de la librería llamada "CORS" (Cross-Origin Resource Sharing) y la configuración que indica acceso desde cualquier origen al API, lo cual para la etapa del desarrollo es

factible, pero, es muy peligroso en un entorno de producción. Y el segundo error indica que Express.js envía un encabezado en las respuestas HTTP que revelan la versión de la librería y esto

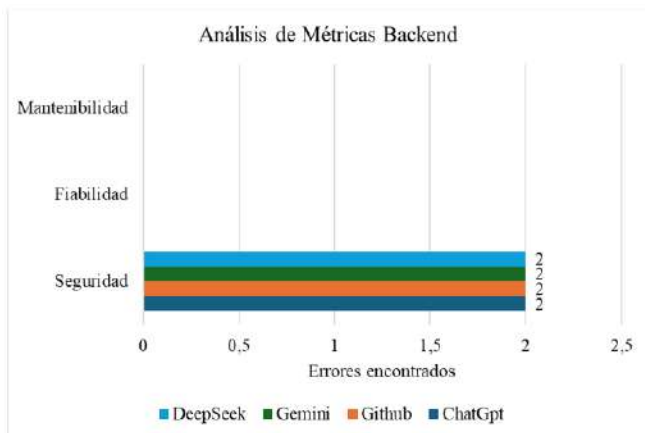


Figura 6. Evaluación de SonarQube en el backend.

Fuente: Los Autores.

puede ser un riesgo de seguridad, dado que, un atacante podría buscar las vulnerabilidades de esa versión y atacarlas.

La evaluación de SonarQube para el frontend revela una cantidad considerable de problemas generados por las herramientas de IA, como se detalla en la Figura 7.

Un aspecto positivo común es la solidez en la seguridad que demuestran todas las herramientas, ya que no presentan error alguno en la métrica de seguridad, lo cual indica una generación de código libre de vulnerabilidades.

No obstante, solo ChatGPT muestra una deficiencia en la confiabilidad con una puntuación de 15 errores. Esto indica que, a pesar de su buena seguridad, el código generado podría tener inconsistencias que podrían afectar su estabilidad y funcionamiento, sin embargo, SonarQube nos da una clasificación de "A" en fiabilidad, entendiendo que, los problemas detectados

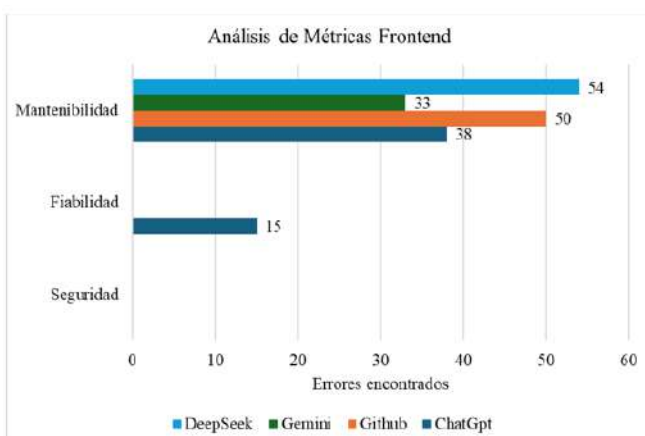


Figura 7. Evaluación de SonarQube del frontend.

Fuente: Los Autores.

no influyen de manera significativa en la calidad del código.

En cuestión de mantenibilidad se presentan resultados variables de errores, demostrando que ninguna herramienta alcanza un nivel óptimo en esta métrica, sugiriendo que generan un código complicado de entender y modificar en el futuro.

Entre los problemas expuestos por SonarQube: la declaración de variables que posteriormente no se les asigna un valor, archivos de CSS vacíos e importación de módulos que no se utilizan. Cabe recalcar que "A" es la clasificación obtenida en esta métrica para todas las herramientas de IA, lo que sugiere que, el código generado es mantenible a pesar de la cantidad de errores encontrados en la evaluación.

3.2. Análisis de la Severidad evaluada por SonarQube

Analizando la severidad de los problemas encontrados en cuanto a Fiabilidad en ChatGPT, los problemas que presenta son de severidad media, y todos relacionados con la falta de asociación entre etiquetas de formulario y sus controles correspondientes, este tipo de problema, aunque no es crítico para la funcionalidad, siempre se recomienda cumplir con las mejores prácticas de accesibilidad y usabilidad.

Asimismo, en los problemas encontrados en la mantenibilidad del código, se observa que la mayoría son de severidad media, lo que indica que, si bien existen oportunidades de mejora, el código

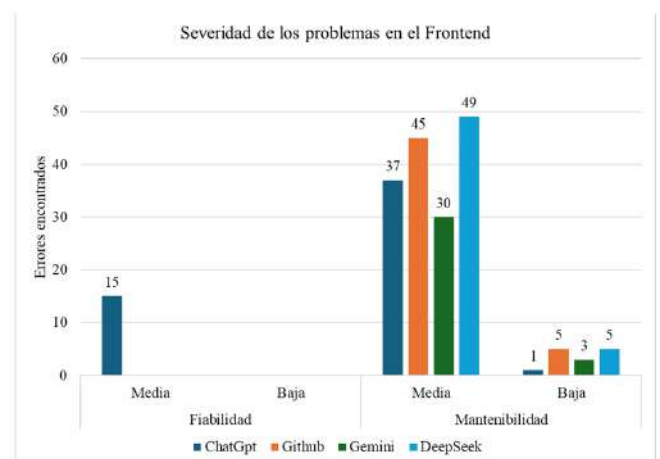


Figura 8. Severidad de los problemas encontrados.

Fuente: Los Autores.

no presenta problemas críticos que dificulten su mantenibilidad. Los problemas obtenidos en fiabilidad se generan dado que Angular maneja la asociación entre etiquetas y campos de formularios a través de directivas como "ngModel", por lo tanto, la IA al generar el código omite atributos que no son necesarios, sin embargo, SonarQube analiza usando reglas generales de accesibilidad basadas en HTML estándar.

Por esta razón el impacto en la funcionalidad es inexistente y obtiene una clasificación positiva por parte de SonarQube.

En cuanto a la cantidad de problemas de mantenibilidad presentados por las herramientas son: DeepSeek (54), GitHub



Copilot (50), ChatGPT (38) y Gemini (33). Es importante mencionar que; aunque DeepSeek presenta un mayor número de problemas, la diferencia con respecto a las otras IA no es muy significativa.

3.3. Problemas Comunes Detectados

Como se observa en la Tabla 10, los problemas de mantenibilidad más comunes detectados por SonarQube se relacionan con la declaración de variables, la organización de archivos e importaciones, y la presencia de código no utilizado. La frecuencia del problema “Member ‘...’ is never reassigned, mark it as ‘readonly’” sugiere que las IA tienden a generar código con variables o miembros de clase que no se modifican después de su declaración inicial; si bien esto no afecta la funcionalidad del código, marcar estas variables como “readonly” puede mejorar la calidad del código.

Este mensaje se refiere a las variables que almacenan instancias

Tabla 10. Problemas Comunes de Mantenibilidad.

Fuente: Los Autores.

Problema	Descripción
“Member ‘...’ is never reassigned, mark it as ‘readonly’”	Este problema es el más frecuente en todas las IA. Indica que hay variables o miembros de clase que se declaran, pero nunca se les reasigna un valor, por lo que podrían marcarse como “readonly” para mejorar la legibilidad y prevenir modificaciones accidentales.
“Unexpected empty source”	Este problema se refiere a archivos CSS vacíos, lo que puede indicar que se crearon archivos innecesarios o que falta código.
“Remove this unused import of...”	Este problema señala que hay importaciones de módulos o componentes que no se utilizan en el archivo, lo que puede afectar la organización y el rendimiento.

de servicios, las cuales, al ser clases, solo se utilizan para acceder a sus métodos sin reasignarles nuevos valores.

Respecto a la presencia de archivos CSS vacíos (“Unexpected empty source”) se debe a que en este caso se usó Bootstrap para el diseño y al usar sus clases, componentes y demás utilidades, se dejó vacíos varios archivos CSS que Angular generó con la creación de los componentes.

Por último, el problema de “Remove this unused import of...” señala que las IA a veces incluyen importaciones de módulos o componentes que no se utilizan en el archivo, sin embargo, esto puede suceder debido a que la IA en algunas ocasiones generó código que no ejecutaba y se tuvo que volver a generar para que pueda ejecutar de manera correcta, entonces en esa nueva generación se quedaron algunas importaciones que pertenecían a la versión anterior.

3.4. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio respaldan parcialmente la hipótesis que se planteó en este artículo, con base en la seguridad se observó que las IA generan código con pocos problemas de seguridad, incluso ningún problema en el caso del frontend, lo que sugiere que las IA pueden ser herramientas para generar código seguro, pero sin descartar la necesidad de revisión manual para garantizar la seguridad de la aplicación.

En cuanto a la mantenibilidad, si bien la mayoría de los problemas fueron de severidad media o baja, la cantidad fue considerable, especialmente en el caso de DeepSeek y GitHub Copilot, esto indica que las IA aún tienen margen de mejora en la generación de código limpio y mantenible.

Respecto a la fiabilidad, solo ChatGPT presentó problemas en el frontend, esto sugiere que la fiabilidad del código generado puede variar significativamente.

Todo esto revelando que las herramientas pueden generar un código de calidad a pesar de los problemas que puedan manifestarse, debido a que, si se presentan se podrían solucionar de una manera fácil sin afectar la funcionalidad del software.

Comparando con estudios anteriores se registraron similitudes a los trabajos realizados por Siam et al. (2024) y Afrin et al. (2025), quienes exponen que ChatGpt, Gemini y DeepSeek ayudan a mejorar la eficiencia y productividad del desarrollo de software, también generan código de calidad aceptable sin descartar la revisión humana para corrección de errores pequeños; lo cual afirma lo evidenciado en este estudio sobre el impacto positivo que tienen las herramientas de IA en la generación de código; considerando incluso los problemas registrados por SonarQube para el caso de Angular y Node.js.

Paralelamente Ng et al. (2024) señala que, GitHub Copilot genera código de calidad y reduce el tiempo de codificación, lo cual se asemeja con los resultados obtenidos en este estudio comparativo donde se reflejó la eficiencia de las herramientas de IA en la generación de código.

La influencia de estas herramientas en un entorno real, como en el desarrollo de un sistema que requiere varios meses de trabajo, es un aspecto clave a considerar.

Es fundamental analizar las diferencias significativas en su uso a lo largo del tiempo, según Siam et al. (2024), aunque Gemini es una IA poderosa en la generación de código, presenta una limitación importante al no recordar el código generado días anteriores, lo que dificulta la continuidad del desarrollo.

De manera similar GitHub Copilot olvida fragmentos de código casi de inmediato, lo que puede generar errores, redundancias o la necesidad de volver a generar partes del trabajo.

DeepSeek enfrenta un problema relacionado, ya que impone un límite en la cantidad de mensajes por chat, obligando a reenviar el código previamente generado en nuevas conversaciones para mantener la coherencia del desarrollo.

En contraste, ChatGPT se posiciona como la opción más adecuada para proyectos de gran tamaño, ya que su capacidad de recordar el código generado durante varios días facilita la continuidad y eficiencia del proceso de desarrollo.

Las posibles causas de los problemas encontrados durante la generación de código pueden deberse a factores relacionados con el uso del prompt o el contenido de estos, si bien se usó el mismo para cada una de las herramientas, no todas lograron interpretarlo de la misma manera, por lo cual al querer generar una respuesta se mostraron errores para entregar lo solicitado a cada IA.

Esto tiene relación con el modelo que usa cada IA para generar las respuestas, por esa razón las indicaciones otorgadas no son relevantes, porque cada herramienta la interpreta de una manera distinta y realiza la entrega del código según su entrenamiento específico; se evidencia que esta sería la razón fundamental de que Gemini y GitHub Copilot mostraran errores al inicio del desarrollo.

4. Conclusiones

Este estudio evaluó la capacidad de distintas herramientas de IA para generar código funcional, evidenciando diferencias significativas en la calidad y fiabilidad de los resultados. En términos de seguridad, se identificó que se presentaron pocos problemas críticos, pero que no hubo ausencia de los mismo, lo que sugiere que pueden ser utilizadas como apoyo en la generación de código seguro, aunque siempre con una supervisión y validación humana.

La experiencia práctica con estas herramientas evidenció diferencias claves en su desempeño. ChatGPT demostró ser una de las más eficientes en la generación de backend funcional con un prompt detallado con los requerimientos del caso práctico, el flujo de uso y los modelos de la base de datos.

En contraste, Gemini presentó más errores en su primera respuesta y requirió mayor interacción y desgloses más detallados de los pasos a seguir. GitHub Copilot, por su parte, generó un backend bastante funcional con pocos errores, aunque mostro una limitación al olvidar código generado previamente, especialmente cuando el trabajo se retomaba al día siguiente.

DeepSeek también generó un backend con pocas fallas, pero su uso estuvo afectado por un límite de mensajes por chat, lo que obligó a reenviar información que ya había generado previamente para mantener la continuidad del desarrollo.

Un punto clave es que la generación del frontend presentó bastantes dificultades recurrentes en todas las IA, mencionando especialmente que en GitHub Copilot fue propenso a confundir el trabajo con módulos y no de manera standalone como lo requería el caso práctico planteado.

Los resultados obtenidos en este estudio comparativo establecen

que las herramientas de IA dependen en gran medida de la precisión y profundidad de las indicaciones proporcionadas por el desarrollador, un prompt detallado y estructurado mejora significativamente la funcionalidad del código generado, reduciendo correcciones posteriores.

Mediante la evaluación con SonarQube se demostró que la generación de código es de calidad, a pesar de todos los errores descritos en esta investigación, todas las herramientas son capaces de generar un código claro y funcional, sin presentar cuestiones de gran impacto en la ejecución final.

ChatGPT y DeepSeek fueron las herramientas que destacaron en cuanto a la usabilidad e interacción humano-maquina durante las etapas del desarrollo, mostrando un comportamiento amigable y ordenado en las respuestas generadas, asimismo, siendo capaces de resolver cada uno de los errores que se emitían cuando una parte del código generado no funcionaba de la manera correcta.

Contribución de los autores

Dustin Adrian Cabrera Lavayen: Conceptualización, Investigación, Metodología, Software. **Ricardo Josue Cabrera Calderón:** Conceptualización, Investigación, Redacción – borrador original, Recursos. **Joofre Antonio Honores Tapia:** Supervisión, Administración del proyecto. **John Patricio Orellana Preciado:** Validación, Redacción – revisión y edición del artículo.

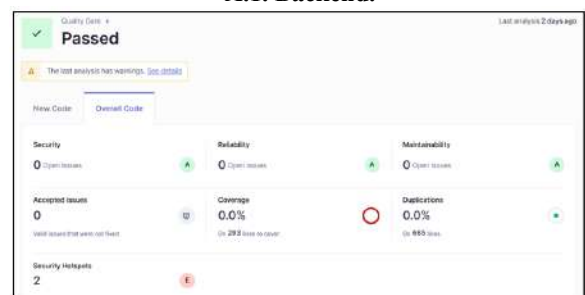
Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

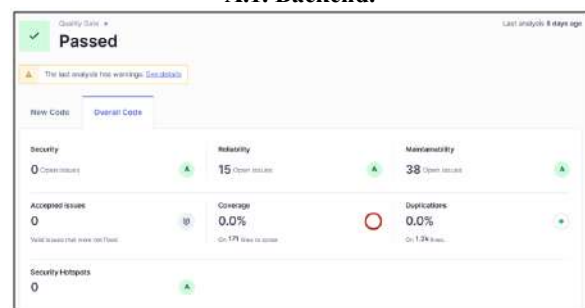
Anexos

Anexo A: Evaluación de ChatGPT mediante SonarQube.

A.1. Backend.

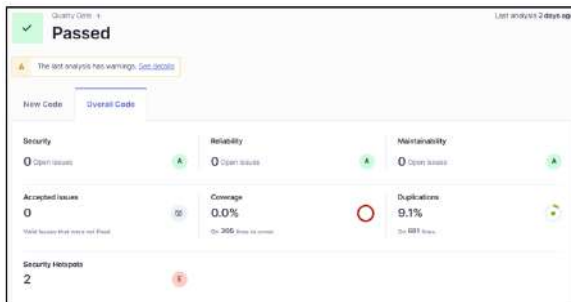


A.1. Backend.

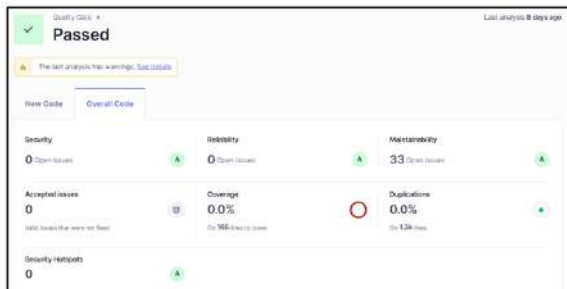


Anexo B: Evaluación de Gemini mediante SonarQube.

B.1. Backend.

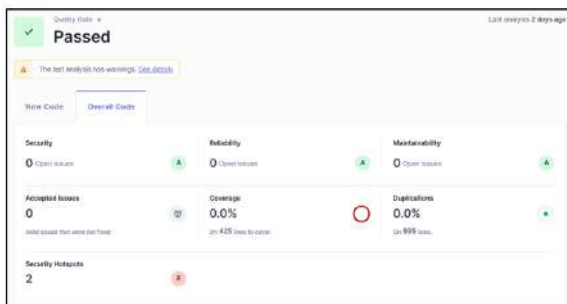


B.2. Frontend.

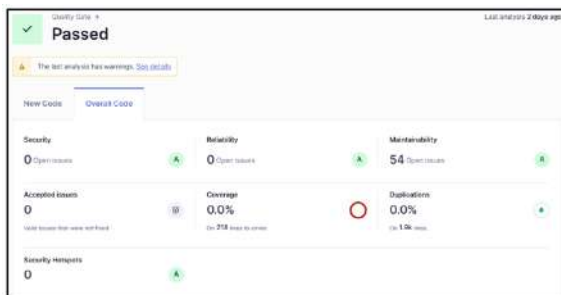


Anexo C: Evaluación de DeepSeek mediante SonarQube.

C.1. Backend.

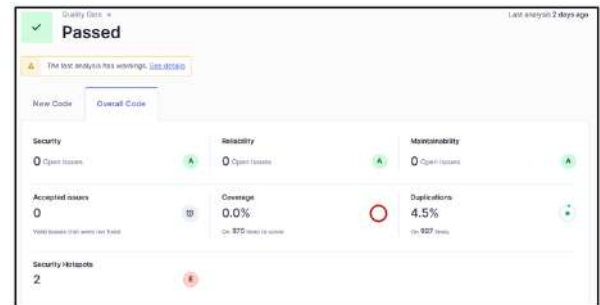


C.2. Frontend.

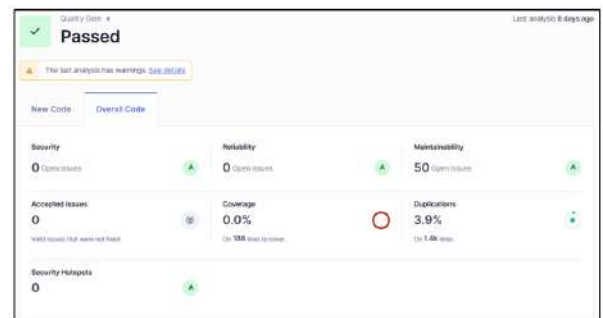


Anexo D: Evaluación de GitHub Copilot mediante SonarQube.

D.1. Backend.



D.2. Frontend.



Referencias bibliográficas

- Abeliuk, A., & Gutiérrez, C. (2021). Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Revista Bits de Ciencia*, 21, 14–21. <https://doi.org/10.71904/BITS.VI21.2767>
- Afrin, S., Call, J., Nguyen, K.-N., Chaparro, O., & Mastropaolo, A. (2025). Resource-efficient & effective code summarization. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2502.03617v1>
- Balsam, S., & Mishra, D. (2025). Web application testing—Challenges and opportunities. *Journal of Systems and Software*, 219, 112186. <https://doi.org/10.1016/J.JSS.2024.112186>
- Chandramouli, P., Codabux, Z., & Vidoni, M. (2022). analyzeR: A SonarQube plugin for analyzing object-oriented R Packages. *SoftwareX*, 19, 101113. <https://doi.org/10.1016/J.SOFTX.2022.101113>
- Cho, K., Park, Y., Kim, J., Kim, B., & Jeong, D. (2025). Conversational AI forensics: A case study on ChatGPT,

- Gemini, Copilot, and Claude. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 52, 301855. <https://doi.org/10.1016/J.FSIDI.2024.301855>
- Clean-code-based analysis | SonarQube Docs. (n.d.). Retrieved February 10, 2025, from <https://docs.sonarsource.com/sonarqube-server/10.7/core-concepts/clean-code/code-analysis/>
- Code metrics & SonarQube. (n.d.). Retrieved February 10, 2025, from <https://docs.sonarsource.com/sonarqube-server/10.7/user-guide/code-metrics/metrics-definition/>
- Colther, C., & Doussoulín, J. P. (2024). Artificial intelligence: Driving force in the evolution of human knowledge. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(4), 100625. <https://doi.org/10.1016/J.JIK.2024.100625>
- DeepSeek-AI, Liu, A., Feng, B., Xue, B., Wang, B., Wu, B., Lu, C., Zhao, C., Deng, C., Zhang, C., Ruan, C., Dai, D., Guo, D., Yang, D., Chen, D., Ji, D., Li, E., Lin, F., Dai, F., ... Pan, Z. (2024). DeepSeek-V3 Technical Report. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2412.19437v1>
- France, S. L. (2024). Navigating software development in the ChatGPT and GitHub Copilot era. *Business Horizons*, 67(5), 649–661. <https://doi.org/10.1016/J.BUSHOR.2024.05.009>
- Hegde, N. N., & G, M. (2024). Prototype pollution detection for Node.js applications: A review. *Journal of Cyber Security, Privacy Issues and Challenges*, 3(2), 23–32. <https://matjournals.net/engineering/index.php/JCSPIC/article/view/682>
- Kuhail, M. A., Mathew, S. S., Khalil, A., Berengueres, J., & Shah, S. J. H. (2024). “Will I be replaced?” Assessing ChatGPT’s effect on software development and programmer perceptions of AI tools. *Science of Computer Programming*, 235, 103111. <https://doi.org/10.1016/J.SCICO.2024.103111>
- Leung, M., & Murphy, G. (2023). On automated assistants for software development: The role of LLMs. Proceedings - 2023 38th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering, ASE 2023, 1737–1741. <https://doi.org/10.1109/ASE56229.2023.00035>
- Mao, Q., & Li, Y. (2024). Blockchain evolution, artificial intelligence and ferrous metal trade. *Resources Policy*, 98, 105369. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2024.105369>
- Mercer, S., Spillard, S., & Martin, D. P. (2025). Brief analysis of DeepSeek R1 and its implications for generative AI. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2502.02523v3>
- Muthumanikandan, V., & Ram, S. (2024). Visistant: A conversational chatbot for natural language to visualizations with Gemini large language models. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.346554199>
- Ng, K. K., Fauzi, L., Leow, L., & Ng, J. (2024). Harnessing the potential of Gen-AI coding assistants in public sector software development. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2409.17434v1>
- Ollila, R., Mäkitalo, N., & Mikkonen, T. (2022). Modern web frameworks: A comparison of rendering performance. *Journal of Web Engineering*, 21(3), 789–813. <https://doi.org/10.13052/JWE1540-9589.21311>
- Rahikainen, M. (2021). Web application in Angular and Ionic. <https://www.theseus.fi/handle/10024/702876>
- Roman Gallardo, A., Roman Herrera Morales, J., Sandoval Carrillo, S., & Alvarez Cardenas, O. (2024). Uso de herramientas de IA generativa para la automatización del desarrollo de software: Un caso de estudio. Ingeniantes, 3. <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes11no1vol3/19.pdf>
- Savani, N. (2023). The future of web development: An in-depth analysis of micro-frontend approaches. International Journal of Computer Trends and Technology. <https://www.researchgate.net/publication/376477757>
- Siam, M. K., Gu, H., & Cheng, J. Q. (2024). Programming with AI: Evaluating ChatGPT, Gemini, AlphaCode, and GitHub Copilot for programmers. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2411.09224>
- Software qualities | SonarQube Docs. (n.d.). Retrieved February 10, 2025, from <https://docs.sonarsource.com/sonarqube-server/10.7/core-concepts/clean-code/software-qualities/>
- Tao, C., Gao, J., & Wang, T. (2019). Testing and quality validation for AI software—Perspectives, issues, and practices. *IEEE Access*, 7, 120164–120175. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937107>
- Usman Hadi, M., Al Tashi, Q., Qureshi, R., Shah, A., Muneer, A., Irfan, M., Zafar, A., Bilal Shaikh, M., Akhtar, N., Zohaib Hassan, S., Shoman, M., Wu, J., Mirjalili, S., Shah, M., Al-Tashi, Q., & Ali Al-Garadi, M. (2024). Large language models: A comprehensive survey of its applications, challenges, limitations, and future prospects. Authorea Preprints. <https://doi.org/10.36227/TECHRXIV.23589741.V740>



Impacto de los sesgos en software informático basado en Inteligencia Artificial

Impact of biases on AI-based computer software

Autores

* **Freddy Aníbal Jumbo Castillo**

✉ fjumbo@utmachala.edu.ec

Johnny Paul Novillo Vicuña

✉ jnovillo@utmachala.edu.ec

Camilly Yuliana Pacheco Ordoñez

✉ cpacheco5@utmachala.edu.ec

Joselyn Katiuska Franco Avila

✉ jfranco9@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala,
Facultad de Ingeniería Civil, Carrera de
Tecnologías de la Información, Machala,
El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Jumbo Castillo, F.A., Novillo Vicuña, J.P., Pacheco Ordoñez, C.Y. & Franco Avila, J.K. 2025. Impacto de los sesgos en software informático basado en Inteligencia Artificial. *Informática y Sistemas*. 9(1), 41-51. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7406>

Enviado: 22/03/2025

Aceptado: 07/04/2025

Publicado: 07/04/2025

Resumen

El objetivo de la investigación es analizar los sesgos y su impacto en diversos campos relacionados con: La selección de personal, el reconocimiento facial, la predicción de reincidencia, el diagnóstico médico y la evaluación crediticia. Su presencia afecta a la efectividad y precisión de las aplicaciones basadas en Inteligencia Artificial (IA) favoreciendo las diferencias sociales. Para tal propósito se utilizó el método PRISMA, permitiendo la búsqueda de aportes teóricos, el filtrado de acuerdo con el cumplimiento de criterios de consulta y la selección de artículos científicos relevantes. Los hallazgos del trabajo revelan lo siguiente: Las aplicaciones de reconocimiento facial evidencian sesgos raciales debido al uso de datos desbalanceados; los sistemas de reclutamiento y predicción de reincidencia son susceptibles a errores en la identificación de género y raza, a raíz de la implementación de algoritmos complejos que inciden en su entendimiento; las aplicaciones de análisis médico arrojan diagnósticos clínicos fallidos a causa del uso de técnicas inapropiadas que afectan a ciertos grupos de personas. Lo mencionado anteriormente demuestra la compleja relación entre la data seleccionada, la codificación de los algoritmos y los aspectos éticos que deben regir la puesta en marcha de las aplicaciones basadas en IA. Las nuevas contribuciones científicas deben centrarse en la investigación de métricas de desempeño utilizando datos balanceados y desbalanceados, conjuntamente con las técnicas requeridas para corregir desigualdades presentes en los volúmenes de datos.

Palabras clave: sesgos; equidad algorítmica; sistemas informáticos; aprendizaje automático; inteligencia artificial.

Abstract

The objective of the research is to analyze biases and their impact in various fields related to personnel selection, facial recognition, recidivism prediction, medical diagnosis, and credit evaluation. Their presence affects the effectiveness and accuracy of AI-based applications, thus exacerbating social differences. To this end, the PRISMA method was used, allowing for the search of theoretical contributions, filtering according to consultation criteria, and selecting relevant scientific articles. The findings of the study reveal the following: facial recognition applications exhibit racial biases due to the use of unbalanced data; recruitment and recidivism prediction systems are susceptible to errors in gender and race identification as a result of implementing complex algorithms that influence their understanding; medical analysis applications deliver faulty clinical diagnoses due to the use of inappropriate techniques that adversely affect certain groups of people. The aforementioned points demonstrate the complex relationship between the selected data, algorithm coding, and the ethical aspects that should govern the implementation of AI-based applications. New scientific contributions should focus on researching performance metrics using both balanced and unbalanced data, along with the techniques required to correct inequalities present in data volumes.

Keywords: biases; algorithmic fairness; computer systems; machine learning; artificial intelligence.



1. Introducción

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), han evolucionado brindando nuevas herramientas, métodos y técnicas sofisticadas, las cuales han mejorado la vida de las personas a través del uso de aplicaciones basadas en Inteligencia Artificial (IA) orientadas a la salud, bancas, laboral, reconocimiento facial, entre otros. Sin embargo, persisten desafíos importantes relacionados con los sesgos que influyen negativamente en los resultados, lo cual afecta la toma de decisiones. Los sesgos reproducen desigualdades que disminuyen la confianza en los sistemas, lo cual afecta su funcionalidad y opaca los beneficios que la IA ofrece (DeCamp & Lindvall, 2023). En el aporte científico de (Tsamados et al., 2022), manifiestan que la ética está vigente en el desarrollo de algoritmos de IA, puesto que reconoce los argumentos moralistas que se deben manifestar en las herramientas de software.

La urgencia de abordar los sesgos presentes en los sistemas de IA, responde a la necesidad de promover entornos tecnológicos justos e inclusivos. Dichos sesgos no solo reproducen patrones de discriminación preexistentes, sino que también pueden intensificar las desigualdades sociales, especialmente en contextos que afectan a poblaciones vulnerables. Conscientes de este desafío, organismos internacionales como la Comisión Europea han establecido marcos regulatorios orientados a mitigar estos riesgos. En su documento *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*, se subraya que la diversidad, la no discriminación y la equidad constituyen principios esenciales para el desarrollo de una IA confiable.

Estas orientaciones evidencian un compromiso ético con la creación de tecnologías que respeten los derechos fundamentales y favorezcan la equidad en el ámbito digital (Varona & Suárez, 2022).

Los sesgos son el reflejo de una variedad de factores, que incluyen el diseño, la selección y la administración de repositorios de datos (Seyyed-Kalantari et al., 2021). La IA favorece la gestión de procesos operativos en las organizaciones, buscando ser neutral en sus decisiones incorpora técnicas sofisticadas para mitigar las inequidades mediante el uso de datos balanceados (Bagga & Piper, 2020), esto permite que las desigualdades históricas no afectan a grupos vulnerables (Vela et al., 2022). La mitigación del impacto de los sesgos incide para el logro de sistemas confiables al servicio de las personas (Tang et al., 2023), lo que conlleva que para tal propósito deban considerarse aspectos técnicos y socioculturales (Simonetta et al., 2021).

Son varios los estudios relacionados con el tema de investigación, entre los cuales se destacan los aportes de

(Peng, 2023) y (Ferrara, 2024); el primero enfatiza en las diferencias de rendimiento de los modelos utilizados en aplicaciones de reconocimiento facial, lo cual se refleja en patrones consistentes de sesgo racial; el segundo trabajo señala que el uso de inadecuadas técnicas ocasiona que se afecten a grupos minoritarios, lo cual es fundamental corregir para el desarrollo de sistemas justos y equitativos.

Las contribuciones son valoradas desde la perspectiva de cómo abordar el desbalance de los datos y la estructura de algoritmos complejos, con el fin de obtener resultados equitativos.

Los trabajos desarrollados muestran un progreso en la detección de sesgos, la completa mitigación de los mismos sigue siendo algo distante, debido al aumento en los volúmenes de datos que son utilizados para el entrenamiento y evaluación, generando la necesidad de garantizar la equidad y minimizar su impacto.

Para tal propósito, se requiere un trabajo más meticuloso y una validación más sólida en contextos reales, lo cual plantea el desafío de encontrar un equilibrio entre las métricas de rendimiento utilizadas. Una correcta planificación incide en el desarrollo y resultados de proyectos con IA, por lo cual es importante abordar de forma concreta cada etapa establecida.

Ante la limitada literatura especializada, que establezca de forma rigurosa y respaldada, la relación entre los sesgos presentes en el software basado en IA y sus implicaciones tanto operativas como sociales en contextos reales de implementación, existen investigaciones que identifican sesgos o proponen soluciones de carácter técnico, siendo insuficientes los enfoques que examinan críticamente la forma en que dichos sesgos se incorporan, se ignoran o incluso se amplifican durante las etapas de diseño y despliegue de estos sistemas.

Por lo tanto, el estudio se distingue por ofrecer un diagnóstico integral que no solo identifi

El objetivo de esta investigación es analizar el impacto de los sesgos de IA, mediante la revisión de textos científicos que aporten en la fundamentación de su origen, el efecto en la toma de decisiones, así como las estrategias de mitigación.

El proceso investigativo se regirá bajo las directrices del método PRISMA, buscando sentar las bases para nuevos aportes que contribuyan al logro de sistemas justos y transparentes. Además, esta revisión contribuye a cerrar una brecha clave en el campo, al articular conocimientos técnicos y regulatorios con el fin de promover prácticas más responsables, transparentes y auditables en el desarrollo de herramientas inteligentes.

2. Materiales y Métodos

El desarrollo general la presente investigación tiene como base los siguientes métodos teóricos:

- **Método de Análisis-Síntesis:** Ayudó a identificar las fuentes de sesgo y a proponer soluciones separando y reorganizando el objeto de estudio.
- **Método Descriptivo:** Contribuyó en la recolección de información de los sesgos en sistemas basados en IA, lo cual permitió una redacción científica, estructurada y secuencial.

El estudio de los sesgos en sistemas informáticos se abordó teniendo como insumos principales los aportes científicos relacionados. Por lo tanto, la metodología se aplicó con base en las directrices PRISMA 2020 la cual se fundamenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Selección de la metodología.

Fuente: Los autores.

Metodología usada	PRISMA 2020
Razón de elección	Las directrices de esta metodología permiten organizar la información de una forma estructurada y clasificar datos de manera precisa, siendo apropiado la obtención datos que se relacionen o ayuden a identificar el impacto de los sesgos en la IA.
Fases principales	Identificación, Cribado e Inclusión.

Gráficamente las fases definidas para la metodología, se pueden apreciar en la Figura 1.

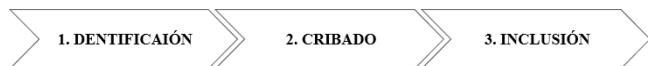


Figura 1. Fases de la metodología.

Fuente: Los autores.

En la Tabla 2, se describen las actividades definidas para cada etapa de la metodología:

Tabla 2. Actividades definidas para cada etapa de la metodología.

Fuente: Los autores.

Orden	Etapas	Actividades
1	Identificación	• Preguntas de investigación • Palabras claves • Selección de Bases de datos
2	Cribado	• Criterios de inclusión y exclusión • Selección de estudios
3	Inclusión	• Evaluación de relevancia • Extracción de datos

2.1. Identificación

2.1.1. Preguntas de investigación

Este estudio tiene como objetivo examinar los sesgos en sistemas de IA, enfocándose en sus causas, efectos y posibles soluciones. Dado que la IA se ha vuelto una herramienta indispensable en áreas como la toma de decisiones automatizada y la personalización de servicios; entender cómo surgen y se mantienen estos sesgos resulta importante. A través de investigaciones científicas, se busca identificar los principales tipos de sesgos en la IA y analizar su impacto en aspectos como la transparencia y la confiabilidad de sus algoritmos.

Tabla 3. Preguntas de investigación sobre sesgos en IA.

Fuente: Los autores.

Código de Pregunta	Pregunta de Investigación
PRG-1	¿Qué factores aportan en el surgimiento de sesgos en sistemas basados en IA?
PRG-2	¿Cómo afectan los sesgos a los usuarios que hacen uso de sistemas basados en IA?
PRG-3	¿Son efectivas las estrategias implementadas para la eliminación de sesgos?

Con base en este objetivo, se plantearon tres preguntas de investigación, las cuales se presentan en la Tabla 3:

Tabla 4. Términos clave empleados en la búsqueda de estudios.

Fuente: Los autores.

Términos	Contexto en el que se espera encontrarlo
Sesgos	Identificación de sesgos presentes en sistemas de IA.
Desafíos en algoritmos inteligentes	Análisis de los sesgos como desafíos en algoritmos y su incidencia en la toma de decisiones.
Filtros e inclusión	Explicación referente a las estrategias de filtrado de datos para mejorar la inclusión en sistemas de IA.
Controles y corrección de algoritmos basados	Descripciones sobre controles prácticos, para reducir la creación de sesgos algorítmicos en sistemas inteligentes y las medidas correctivas aplicadas.

2.1.2. Palabras clave y búsqueda bibliográfica

Para asegurar la relevancia de los estudios a considerar, se hizo uso de la selección de términos clave relacionados con la temática. A continuación, en la Tabla 4 se detallan los términos utilizados:

2.1.3. Selección de base de datos

La búsqueda de información se llevó a cabo en bases de datos científicas como:

- Scopus.
- Web of Science.



- Latindex.
- DOAJ.
- IEEE Xplore.
- SpringerLink.
- Google Scholar.
- Redalyc.

Tabla 5. Cadenas de búsqueda utilizadas en los motores de bases de datos.

Fuente: Los autores.

Idioma	Cadenas de Búsqueda
Inglés	Challenges OR barriers in intelligent algorithms AND their impact on decision-making AND ethical considerations OR optimization.
Inglés	Corrective measures to mitigate OR addressing algorithmic bias in artificial intelligence OR intelligent systems AND promote fairness OR transparency AND inclusion.
Español	Control de algoritmos O mitigación de sesgos Y brechas en sistemas inteligentes O automatizados.
Español	Algoritmos O sistemas inteligentes con desafíos O sesgos Y estrategias para su corrección O mitigación de fallas en decisiones.

Se utilizaron combinaciones de palabras clave incorporadas en cadenas de búsqueda, complementadas con operadores booleanos, con el objetivo de optimizar la precisión y relevancia de los estudios obtenidos en las bases de datos consultadas. A continuación, en la Tabla 5 se presentan las principales cadenas de búsqueda empleadas:

Además, los resultados fueron filtrados considerando que las fechas de publicación estén entre enero de 2020 y marzo de 2025, esperando contar con los puntos de vista más actualizados.

2.2. Cribado

2.2.1. Criterios de inclusión y exclusión

La filtración de los estudios importantes se dio en función de los argumentos de inclusión y exclusión, lo cual permitió focalizar el análisis en aportes teóricos de calidad relacionados con el objetivo del trabajo. A continuación, se listan los criterios establecidos:

- Criterios de inclusión
 - * Artículos científicos vigentes en revisadas indexadas.
 - * Rango temporal de publicación desde el año 2020 al 2025.

Esto avala la actualidad de los descubrimientos científicos.

* El contenido de las contribuciones científicas, se deben relacionar con los sesgos en sistemas informáticos basados en IA. Esto involucra aspectos tales como: Género, raza, cultura y factores socioeconómicos.

* Artículos científicos completos que permitan un análisis minucioso.

• Criterios de exclusión

* Artículos científicos que no hayan sido revisados por pares a doble ciego.

* Publicaciones científicas que en su resumen bibliográfico no cuenten con un DOI (Identificador de Objeto Digital).

2.2.2. Selección de estudios

El proceso realizado tuvo como consecuencia un total de 58 aportes teóricos identificados en las bases de datos científicas. Sin embargo, se excluyeron 10 por condiciones de duplicidad y 5 por otros factores, quedando para su valoración 44 textos

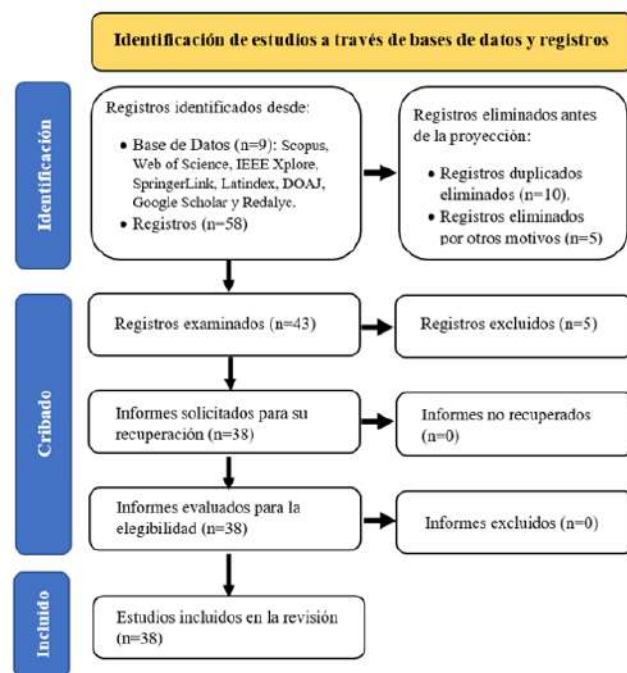


Figura 2. Diagrama PRISMA.

Fuente: Modificado de Santiago Arenas et al. (2023).

científicos. En la fase de cribado se descartaron 5, resultando en 38 estudios estimados para establecer su elegibilidad.

En la etapa final no se presidió de ningún trabajo, por lo cual el

desarrollo de la investigación se sustenta en las 38 contribuciones académicas. En la Figura 2, se representa gráficamente el proceso de acuerdo con la metodología PRISMA.

2.3. Inclusión

2.3.1. Evaluación de relevancia

La revisión sistemática de un trabajo científico se debe sustentar en contribuciones teóricas, que avalen resultados de calidad. Ante este desafío, se definieron los criterios de valoración considerando la relacionen que debe existir entre el tema planteado y los artículos cuyo contenido se corresponda con los sesgos en el software basado en IA. Por lo tanto, en la estructura de cada texto académico se analizaron los siguientes aspectos:

- Metodología utilizada.
- Alcance de los estudios con relación a la temática de investigación, específicamente en campos de aplicación tales como: selección de personal, reconocimiento facial, predicción de reincidencia, diagnóstico médico y evaluación crediticia.
- Rigor académico.

Tabla 6. Sistema de puntuación y resultados para la selección de estudios.

Fuente: Los autores.

Aspecto Evaluado	Detalle
Método de puntuación	Los cinco criterios considerados son: (1) definición clara del objetivo del estudio, (2) transparencia en la descripción metodológica, (3) profundidad en el tratamiento de los sesgos, (4) integración con marcos éticos o normativos pertinentes, y (5) aplicabilidad de los hallazgos en contextos reales de implementación. Cada criterio fue calificado con una escala ordinal de tres niveles: 0 (no cumple), 1 (cumple parcialmente) y 2 (cumple plenamente), estableciéndose un puntaje máximo de 10 puntos por estudio evaluado.
Rango de puntuación	Los estudios con una calificación superior a 7 puntos se seleccionaron considerándolos como relevantes para la investigación.
Total de estudios seleccionados	Se seleccionaron 38 artículos científicos, que estuvieron dentro del rango de puntuación.

Rango temporal de publicación en revistas científicas entre el año 2020 y 2025.

- La relación que debe existir entre el objetivo planteado en la investigación y los aportes teóricos identificados.

Se estableció un método para la valoración y selección de los estudios, el cual se detalla en la Tabla 6.

2.3.2. Extracción de datos

Permitió organizar y clasificar datos en distintas categorías, a través del uso de un protocolo estructurado con el fin de identificar información relevante de los estudios seleccionados con anterioridad. Los aspectos analizados para la extracción de

Tabla 7. Aspectos analizados a partir de los resultados de la extracción de datos.

Fuente: Los autores.

Aspecto Analizado	Detalle
Categorías de sesgos	Desigualdades relacionadas con el género, etnia, condición socioeconómica o estatus social, creencias y aspectos culturales del usuario.
Campos de aplicación	Reconocimiento facial, aplicaciones de reclutamiento, sistemas de predicción de reincidencia, análisis clínico y evaluación crediticia.
Medidas para mitigar sesgos	Enfoques prácticos, implementación de controles y métodos de corrección diseñados para prevenir y corregir estos problemas en sistemas o modelos basados en IA.

datos se estructuran en la Tabla 7.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados

La investigación revela que los sistemas informáticos basados en IA, proporcionan resultados inequitativos de acuerdo con el contexto en que se desarrollan, esto debido a que, en función de los volúmenes de datos se seleccionan erróneamente los conjuntos para el entrenamiento y evaluación de los modelos. En la revisión de los estudios se destacan cinco tipos de sesgos, los

Tabla 8. Principales tipos de sesgos.

Fuente: Los autores.

Tipo de sesgo	Descripción
Sesgo de datos	El uso inapropiado de técnicas de muestreo y balanceo de datos, conlleva a que los algoritmos arrojen resultados injustos para ciertos grupos de la población.
Sesgo de selección	Ocurre cuando la muestra utilizada para un estudio, no es representativa de la población general.
Sesgo de confirmación	Los algoritmos incrementan los estereotipos, cuando los datos de entrenamiento se encuentran desbalanceados y esconden patrones no deseados.
Sesgo de Evaluación	La utilización incorrecta de métricas de rendimiento, afecta el desempeño y confiabilidad de un modelo ocultando la presencia de sesgos
Sesgo de implementación	La discordancia entre el ambiente de entrenamiento e implementación afecta significativamente la efectividad y eficacia del modelo.

mismo que se describen en la Tabla 8 (Akter et al., 2021).

Las investigaciones revelan un crecimiento significativo en el desarrollo de aplicaciones que incorporan algoritmos de IA, las cuales han traído consigo retos relacionados con la presencia de sesgos, cuya existencia se debe al uso de datos de entrenamiento que marginan a ciertos grupos, incidiendo para el logro de una representación justa y equitativa (de Lima et al., 2023). A



continuación, se describen diversos algoritmos utilizados en aplicaciones basadas en IA, enfatizando en sus fortalezas y debilidades frente a los sesgos:

- **Redes Neuronales Convolucionales (CNN):** Los algoritmos son frecuentemente utilizados para la clasificación de imágenes, reconocimiento facial, identificación de objetos, entre otros. A pesar de sus potencialidades son susceptibles a experimentar sesgos, si se utilizan métodos poco eficientes para la selección de datos de entrenamiento y evaluación, lo cual incide en búsqueda de una representatividad justa (Paredes Meneses, 2023).

- **Transformers:** Estos modelos son fuertes en tareas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), los cuales se desenvuelven procesando grandes cantidades de datos, de cuales en ocasiones se heredan las falencias relacionadas con la poca variabilidad de contenido favoreciendo la presencia de sesgos.

- **Árboles de Decisión y Random Forests:** Estos modelos requieren que los datos de entrenamiento se definan correctamente, para una implementación efectiva de los algoritmos (Ghosal & Hooker, 2020).

- **Algoritmos de Clustering:** Los modelos desfavorecen a ciertos grupos, si los datos no se sistematizan adecuadamente.

Los sistemas modernos involucran el uso de tecnologías emergentes, con el fin de optimizar las tareas de las aplicaciones informáticas relacionadas con la seguridad, justicia, talento humano, entre otros. La IA surge como un mecanismo válido para optimizar procesos críticos; sin embargo, están sujetos a experimentar sesgos debido a la poca variabilidad de los datos y la codificación de algoritmos poco transparentes, lo cual influye en la obtención de resultados inequitativos y discriminatorios. A continuación, se detallan los casos que han experimentado sesgos:

- **Sesgo racial en reconocimiento facial:** Los modelos de IA utilizados muestran un bajo rendimiento en la identificación de personas de piel oscura, debido a su escasa representatividad en los datos de entrenamiento, lo cual se sustenta en los resultados que arrojaron las aplicaciones de IBM afectando en un 34.7% a las mujeres afrodescendientes (Khalil et al., 2020). Los algoritmos implementados para el reconocimiento facial son frecuentemente utilizados por la policía, para la identificación de sospechosos o personas con antecedentes penales; sin embargo, no están exentos de sesgos lo cual se traduce en resultados erróneos. Ante esta situación (Sanabria Moyano et al., 2022), mencionan que esto genera dudas relacionadas con la certeza y aporte al desarrollo de los casos. La codificación de algoritmos incide en la toma de decisiones, por lo cual es necesario que se sustenten bajo sólidos criterios éticos, neutrales e inclusivos (Reyes Campos et al., 2023). De acuerdo con el criterio de (Ávila Bravo-Villasante, 2023), las aplicaciones implementadas como

medios de atención donde existe masiva concurrencia, pueden afectar la funcionalidad de los sistemas debido a la presencia de sesgos raciales (Beltramelli Gula et al., 2023). Sin embargo, existen otras herramientas que han experimentado algún tipo de

Tabla 9. Sesgos en herramientas de reconocimiento facial.

Fuente: Los autores.

Empresa/Aplicación	Descripción
Amazon Rekognition	Esta aplicación arrojó resultados que afectaban la precisión, perjudicando en el reconocimiento a personas de piel oscura o afrodescendientes.
Amazon Rekognition	En el reconocimiento de individuos de piel oscura la cantidad de falsos positivos fue muy alta.
IBM Watson Visual Recognition	El rendimiento de la aplicación arrojó resultados que afectaban significativamente las personas de sexo femenino afrodescendientes.

sesgo y se describen en la Tabla 9:

- **Sesgo de género en sistemas de reclutamiento:** Los sistemas inteligentes para la selección de personal, demuestran marcada polaridad hacia los candidatos hombres, discriminando las candidatas mujeres, por lo cual es importante que las aplicaciones

no sólo se adapten a los avances tecnológicos, sino que además consideren las características de los usuarios que comúnmente se estructuran en las hojas de vida. Esto aporta transparencia a las tareas de revisión de currículums, mitigando el impacto de los sesgos y optimizando los tiempos de respuesta. El descubrimiento de postulantes en línea facilita el proceso de evaluación de actividades o tareas, mediante el uso de aplicaciones modernas de realidad aumentada, lo cual favorece la planificación establecida reduciendo los tiempos requeridos. La presencia de sesgos de género en los modelos de IA para el reclutamiento de talento humano incide en la inclusión laboral, por lo cual es pertinente considerar en el desarrollo de estrategias que ayuden a minimizar su impacto. Esto contribuye a una selección transparente donde candidatos masculinos y femeninos tengan las mismas opciones laborales (Pérez López, 2023). En la Tabla 10, se evidencian algunos casos de sesgos detectados en los sistemas informáticos de varias empresas:

- **Sesgo en sistemas de predicción de reincidencia:** Estas aplicaciones tienen el propósito de predecir cuando una persona reincide en el cometimiento de delitos, lo que las ha convertido en una necesidad emergente y de exigencia en los requerimientos científicos, tecnológicos y justicia penal, existiendo una marcada relación entre la ciencia de datos, las matemáticas y el derecho, las cuales de forma conjunta permiten el desarrollo de sistemas

Tabla 10. Sesgos de género identificados en organizaciones.

Fuente: Los autores.

Empresa/ Aplicación	Descripción
Amazon	El sistema favoreció a los hombres y perjudicó a las mujeres, debido a que el modelo fue entrenado con datos históricos, que reflejaban escasa variabilidad en su contenido (Chang, 2023).
LinkedIn	Los algoritmos de la aplicación InstaJob y People You May Know (PYMK), experimentaron sesgos de género que valoraban de mejor forma a los candidatos masculinos, en comparación con las candidatas femeninas reduciendo sus oportunidades en la plataforma en línea (Yu & Saint-Jacques, 2022).
InfoJobs	En esta aplicación los candidatos masculinos recibían avisos laborales y contratos estables con mejores sueldos y prestaciones, en comparación con las candidatas de sexo femenino (Martínez et al., 2021).

transparentes y efectivos. Esto conlleva a superar los retos que surgen entorno a su implementación, aprovechando los beneficios de la tecnología emergente y con una base jurídica sólida, lo cual se refleje en algoritmos correctamente estructurados y equitativos, que resuelvan de manera justa lo concerniente a infracciones (Bravo Bolado, 2023). El Level of Service Inventory-Revised (LSI-R), es un instrumento de evaluación ampliamente empleado en el sistema de justicia penal para medir el riesgo de reincidencia y determinar las necesidades criminógenas de las personas evaluadas. Este modelo considera una variedad de factores, incluidos antecedentes penales, historial educativo, laboral, relaciones familiares y estabilidad emocional, con el objetivo de generar puntuaciones que sirvan de apoyo a jueces y funcionarios. Estas calificaciones son utilizadas para tomar decisiones informadas sobre libertad condicional, planes de rehabilitación y otras intervenciones judiciales, buscando promover estrategias que reduzcan la reincidencia y fortalezcan la reintegración social (Zhang, 2016).

Sin embargo, varios estudios han señalado que la implementación del LSI-R presenta desafíos, especialmente en lo que respecta a la interpretación de sus puntuaciones en diferentes contextos culturales y sociales. Aunque es una herramienta transparente y bien documentada, su aplicación puede generar inquietudes cuando los datos utilizados para las evaluaciones no representan adecuadamente a ciertos grupos demográficos, lo que podría perpetuar desigualdades existentes. Estas limitaciones subrayan la necesidad de realizar auditorías regulares y ajustes contextuales para garantizar que las evaluaciones sean justas y equitativas para todos los individuos. Otra aplicación análoga es Prisoner Assessment Tool Targeting Estimated Risk and Needs (PATTERN), la cual valora el riesgo de reincidencia de los sujetos privados de libertad, teniendo como objetivo la reinserción de las personas a la sociedad (Hamilton et al., 2022). Estas herramientas utilizan modelos estadísticos de IA para analizar datos y efectuar predicciones.

• **Sesgo en sistemas de diagnóstico clínico:** En estas aplicaciones existen desafíos por resolver relativos a la equidad. La codificación de algoritmos ha permitido avances importantes en el ámbito

de la salud; sin embargo, estos modelos tienden a presentar inconsistencias en las respuestas, cuando los datos utilizados no se han preprocesado correctamente para una representación efectiva de la población. Esto conduce a valoraciones erróneas en ciertos grupos étnicos y socioeconómicos, enfatizando la necesidad de reconocer y manejar sesgos humanos y tecnológicos. La contribución científica de (Kudina & de Boer, 2021), explora la integración de sistemas de apoyo a la decisión basados en el aprendizaje automático, considerando que la inclusión de sesgos incide en la interpretación del diagnóstico de enfermedades del paciente, donde el juicio clínico juega un papel crucial. El no condicionamiento a la atención médica, incorpora modelos neutrales de IA que descartan la influencia de sesgos en los procesos de análisis.

Una de las herramientas desarrolladas en el campo de la medicina y basadas en IA es Watson, la cual mostró una alta tasa de correlación con equipos multidisciplinarios sobre ciertos tipos de cáncer, especialmente cuando se aplican en diferentes contextos clínicos y geográficos. Sin embargo, otros estudios han señalado discrepancias en las recomendaciones que arroja la herramienta, las cuales pueden ser causados por un sistema entrenado principalmente con datos de instituciones específicas, que podrían no reflejar la diversidad de prácticas médicas a nivel mundial (Jie et al., 2021). De acuerdo con el criterio de (Gilbert et al., 2020), la aplicación Ada tuvo una precisión mayor en casos clínicos simples y con enfermedades comunes; no obstante, presentó un sesgo algorítmico relevante que limita su eficacia para detectar patologías raras o atípicas. Este sesgo se atribuye a la priorización de enfermedades prevalentes en sus datos de entrenamiento.

En el aporte teórico de (Golden et al., 2021), destacan que los National Standards for Culturally and Linguistically Appropriate Services (CLAS), son una herramienta determinante para lograr un trato consistente en la atención de salud, por tal motivo, para resolver estas discrepancias es esencial abordar directamente los requerimientos sociales de la salud. Con base en lo manifestado anteriormente, es imperiosa la necesidad de optimizar la data para el entrenamiento y evaluación de los modelos bajo protocolos de validación permanente. Es importante que los sistemas consideren, desde la capacitación en sesgos y diversidad hasta estrategias de estado en temas de salud para lograr una equidad y sostenibilidad.

La funcionalidad de estas aplicaciones se logra incorporando criterios de transparencia y equidad, que permitan la evaluación de los solicitantes de forma equitativa, considerando que la utilización de algoritmos de IA en la estimación del crédito ha transformado la forma en que se conceden los préstamos y se gestionan los riesgos financieros. Por lo tanto, es necesario que las instituciones financieras optimicen sus modelos, con el fin de evitar la implementación de sistemas sesgados que reducen las oportunidades de financiamiento para los grupos marginados. La presencia de registros históricos en la data, producen resultados sesgados que se sustentan en una incorrecta interpretación de variables tales como: raza, género y nivel socioeconómico (Fuster et al., 2021). Para hacer frente a estos desafíos, es necesario optimizar las técnicas de muestreo y las limitaciones de equidad,

permitiendo el desarrollo de sistemas de IA transparentes y justos.

Cabe señalar que en la contribución científica de (Chen et al., 2025), manifiestan que en el desarrollo de sistemas de evaluación de crédito debe buscarse un equilibrio entre la equidad y la exactitud de los modelos de evaluación del riesgo; sin embargo, eliminar completamente los sesgos en los algoritmos puede ser una tarea desafiante. La correcta ejecución de las tareas de diseño, codificación del algoritmo de IA y una auditoría permanente, contribuyen a la obtención de resultados equilibrados en las

Tabla 11. Sesgos de evaluación crediticia en organizaciones.

Fuente: Los autores.

Empresa/ Aplicación	Descripción
Apple Card	Un diseño no transparente puede ocultar sesgos asociados, lo que demuestra la necesidad de una supervisión regulatoria para la asignación de créditos justos. La valoración de perfiles otorgó diferentes límites de crédito según el género, afectando a las solicitantes mujeres (Li et al., 2023).
FICO Score	Las valoraciones crediticias frecuentemente reflejan las diferencias históricas de datos heredados, lo cual conduce al desafío de actualizar los conjuntos de datos utilizados en los sistemas para lograr resultados equitativos (Coraglia et al., 2024).
Kreditech	Está aplicación incorpora la IA junto con la Big Data para la valoración crediticia; sin embargo, no estuvo exenta de presencia de sesgos los cuales fueron resultado de escasos antecedentes bancarios, lo cual afectó a ciertos grupos de personas (Wang & Wang, 2020).

aplicaciones de evaluación de créditos financieros, lo cual beneficia a todos los segmentos de la sociedad. A continuación, se detallan en la Tabla 11 los sesgos detectados en aplicaciones de evaluación crediticia.

3.4. Discusión

La revisión de los estudios consultados revela un interés académico creciente por comprender la naturaleza y el alcance de los sesgos algorítmicos en los sistemas basados en IA. No obstante, persisten limitaciones estructurales que obstaculizan una evaluación integral del fenómeno. Una de las debilidades más recurrentes es la marcada heterogeneidad metodológica: la multiplicidad de métricas utilizadas para evaluar la equidad y la discriminación, tal como lo advierten (Simonetta et al., 2021) (Yu & Saint-Jacques, 2022), se dificulta establecer comparaciones sistemáticas entre modelos y ámbitos de aplicación. A pesar de los trabajos enfocados en sesgos visibles, como los relacionados

con género o raza, existe una tendencia a subestimar factores interseccionales como la clase social, la discapacidad o la edad. Esta omisión restringe la profundidad analítica desde una perspectiva de justicia social (Ávila Bravo-Villasante, 2023) (Bravo Bolado, 2023), y evidencia la necesidad de establecer marcos regulatorios que respondan de manera integral a las implicaciones éticas derivadas del uso de IA.

Otra limitación relevante identificada en la literatura es la escasa replicabilidad de los estudios empíricos. Trabajos como los de (Gilbert et al., 2020), centrados en aplicaciones clínicas de diagnóstico automatizado, o (Martínez et al., 2021), enfocados en la detección de sesgos de género en sistemas de alerta de empleo, presentan resultados sin ofrecer información detallada sobre la procedencia de los datos ni sobre las tasas específicas de error. Esta falta de transparencia metodológica impide evaluar la robustez y la generalización de sus hallazgos. La opacidad técnica se vuelve aún más problemática en contextos críticos como la justicia penal o el ámbito financiero, donde las decisiones automatizadas pueden tener implicaciones significativas para los derechos de las personas (Noiret et al., 2021)(Fuster et al., 2021). Los sistemas de reconocimiento facial han sido objeto de creciente investigación debido a los sesgos, que tienden a afectar de forma desproporcionada a determinados grupos demográficos, lo cual genera discrepancias que comprometen, no solo la fiabilidad técnica de los sistemas, sino que también generan preocupaciones éticas relevantes, particularmente cuando se aplican en contextos de alta sensibilidad social como la seguridad pública y la vigilancia(Khalil et al., 2020).

Por otro lado, la literatura también pone en evidencia controversias persistentes en torno a la tensión entre eficiencia técnica y justicia distributiva. Estudios como los de (Cary et al., 2023) y (DeCamp & Lindvall, 2023), documentan cómo ciertos algoritmos clínicos perpetúan inequidades raciales al diagnosticar erróneamente y sistemáticamente a pacientes pertenecientes a minorías étnicas, a pesar de haber sido diseñados con el propósito explícito de optimizar la atención médica. En la misma línea, (Chang, 2023) expone el caso del sistema de reclutamiento automatizado de Amazon, el cual discriminó de forma sistemática a mujeres, revelando que incluso organizaciones con capacidades tecnológicas avanzadas pueden desarrollar sistemas profundamente sesgados. Esto refuerza la idea de que el sesgo en los sistemas de IA no puede entenderse exclusivamente como un problema técnico, sino como un fenómeno sociotécnico que está intrínsecamente ligado a las dinámicas sociales y a los datos que alimentan dichos sistemas (Akter et al., 2021) (Ferrara, 2024).

El análisis puede fortalecerse mediante la inclusión de estudios que no solo respalden, sino también desafíen o complementen los hallazgos más consolidados en la literatura. Así, mientras algunos trabajos destacan el carácter discriminatorio de determinados modelos de puntuación crediticia (Fuster et al., 2021), otros como

(Coraglia et al., 2024) introducen herramientas como BRIO, diseñadas para mejorar la transparencia y reducir el sesgo desde las etapas iniciales del desarrollo algorítmico. En el campo de la salud, (Cary et al., 2023) advierten sobre el impacto adverso de los algoritmos clínicos en poblaciones vulnerables; sin embargo, (Vela et al., 2022) sostienen que, bajo enfoques de diseño responsable la IA puede constituirse en una herramienta eficaz para promover la equidad sanitaria. Estas posturas divergentes evidencian la necesidad de fomentar un debate académico

Tabla 12. Estudios analizados según el dominio.

Fuente: Los autores.

Dominio	Número de estudios
Selección de personal	4
Reconocimiento facial	6
Predicción de reincidencia	4
Diagnóstico médico	6
Evaluación crediticia	6

más plural, que contemple tanto las limitaciones como las oportunidades de la IA en contextos sociales complejos.

Clasificación de los estudios analizados por área de aplicación

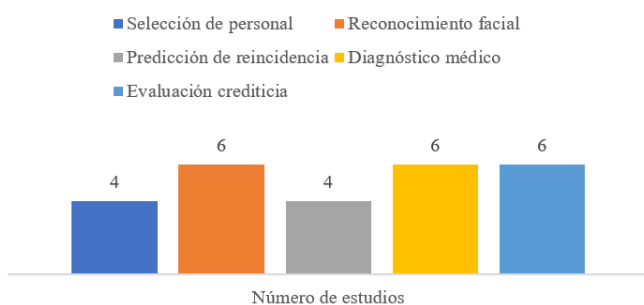


Figura 3. Clasificación de los estudios analizados por área de aplicación.

Fuente: Los autores.

Con el propósito de ofrecer una visión transversal del fenómeno del sesgo algorítmico en IA, se presenta en la Tabla 12, los estudios analizados según el dominio de aplicación.

A continuación, se representan gráficamente en la Figura 3, los resultados de la tabla anterior.

La gráfica revela que los dominios de reconocimiento facial, diagnóstico médico y evaluación crediticia concentran la mayor cantidad de estudios (seis en cada caso), lo cual sugiere una atención académica prioritaria hacia estos sectores, probablemente debido a su impacto directo en derechos fundamentales y en procesos de toma de decisiones sensibles.

En contraste, los ámbitos de selección de personal y predicción

de reincidencia muestran una menor cantidad de investigaciones (cuatro estudios en cada uno), lo que podría evidenciar la necesidad de una mayor profundización teórica y empírica en estas áreas, particularmente considerando los riesgos éticos y sociales que también conllevan sus aplicaciones algorítmicas.

4. Conclusiones

Los resultados de la investigación evidencian que los sesgos en el software basado en la IA, están latentes en varias aplicaciones que van desde el reconocimiento facial, diagnóstico médico, sistemas de evaluación del crédito, predicción de reincidencia y contratación de personal.

Esto debido a la codificación de algoritmos opacos que apoyan las desigualdades sociales actuales; por lo cual, es importante reconocer que para cada área de desarrollo se presentan desafíos únicos derivados de datos inestables y limitantes históricas.

Incluso se observa que los modelos modernos de estadística y aprendizaje automático, pueden experimentar sesgos inconscientes que afectan el desempeño de sistemas e impactan en el aumento de los resultados discriminatorios.

La aplicación de estrategias que busquen la justicia y transparencia, ayudan a minimizar el impacto del uso de datos desbalanceados y favorecen la programación exitosa de los requerimientos.

Se recomienda incorporar enfoques éticos y multidisciplinarios desde las fases iniciales del diseño de los sistemas basados en IA, así como establecer mecanismos de auditoría algorítmica que permitan evaluar su funcionamiento de forma transparente y responsable.

Asimismo, el uso de conjuntos de datos inclusivos y representativos resulta esencial para mitigar sesgos estructurales.

De cara a futuras investigaciones, sería especialmente valioso examinar casos en contextos históricamente subrepresentados en particular, África, América Latina, El Caribe, Asia y Oceanía, con el propósito de avanzar en el desarrollo de métricas de equidad que se ajusten a las diversas realidades socioculturales en las que se implementan estas tecnologías.

Entre las principales limitaciones de este estudio, se encuentra la posible parcialidad en la selección de fuentes bibliográficas, dado que se privilegió la revisión de publicaciones indexadas en bases de datos académicas de alta reputación.

Esta elección metodológica pudo haber excluido literatura relevante disponible en repositorios alternativos o en medios no tradicionales. Asimismo, el análisis se centró predominantemente en trabajos redactados en inglés y español, lo que introduce un sesgo lingüístico que podría haber restringido la diversidad de enfoques culturales y geográficos contemplados.

Estas consideraciones deben ser tenidas en cuenta al interpretar los resultados, y subrayan la necesidad de que futuras revisiones sistemáticas amplíen sus criterios de búsqueda y selección con el fin de incorporar una mayor heterogeneidad de voces, contextos y perspectivas.

Contribución de los autores

Freddy Aníbal Jumbo Castillo: Conceptualización, Metodología, Supervisión, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. **Johnny Paul Novillo Vicuña:** Investigación, Curación de datos, Análisis formal, Redacción – borrador original. **Camilly Yuliana Pacheco Ordoñez:** Validación, Análisis formal, Redacción – revisión y edición. **Joselyn Katiuska Franco Ávila:** Validación, Interpretación de datos, Administración del proyecto, Redacción – revisión y edición.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Ávila Bravo-Villasante, M. (2023). La agenda feminista ante la cuarta revolución industrial. Mujeres y algoritmización de la esfera pública. *Cuestiones de Género: De La Igualdad y La Diferencia*, 18, 132–155. <https://doi.org/10.18002/cg.i18.7573>
- Akter, S., McCarthy, G., Sajib, S., Michael, K., Dwivedi, Y. K., D'Ambra, J., & Shen, K. N. (2021). Algorithmic bias in data-driven innovation in the age of AI. *International Journal of Information Management*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102387>
- Bagga, S., & Piper, A. (2020). Measuring the effects of bias in training data for literary classification. *LaTeCH-CLFL*.
- Beltramelli Gula, N., Ferro, C., Goñi Mazzitelli, M., Etcheverry, L., & Rocamora, M. (2023). Un concepto viajero. *Novos Rumos Sociológicos*, 10(18). <https://doi.org/10.15210/norus.v10i18.4847>
- Bravo Bolado, A. (2023). Justicia algorítmica: Un enfoque sociotécnico. *Estudios Penales y Criminológicos*, 1–42. <https://doi.org/10.15304/epc.44.8838>
- Cary, M. P., Zink, A., Wei, S., Olson, A., Yan, M., Senior, R., Bessias, S., Gadhoumi, K., Jean-Pierre, G., Wang, D., Ledbetter, L. S., Economou-Zavlanos, N. J., Obermeyer, Z., & Pencina, M. J. (2023). Mitigating racial and ethnic bias and advancing health equity in clinical algorithms: A scoping review. *Health Affairs*, 42(10). <https://doi.org/10.1377/HLTHAFF.2023.00553>
- Chang, X. (2023). Gender bias in hiring: An analysis of the impact of Amazon's recruiting algorithm. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 23(1). <https://doi.org/10.54254/2754-1169/23/20230367>
- Chen, Z., Zhou, Y., Wang, Z., Liu, F., Leng, T., & Zhu, H. (2025). A bias evaluation solution for multiple sensitive attribute speech recognition. *Computer Speech & Language*, 93, 101787. <https://doi.org/10.1016/J.CSL.2025.101787>
- Coraglia, G., Genco, F. A., Piantadosi, P., Bagli, E., Giuffrida, P., Posillipo, D., & Primiero, G. (2024). Evaluating AI fairness in credit scoring with the BRIO tool. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2406.03292>
- de Lima, R. M., Pisker, B., & Corrêa, V. S. (2023). Gender bias in artificial intelligence: A systematic review of the literature. *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, 11(2). <https://doi.org/10.18080/jtde.v11n2.690>
- DeCamp, M., & Lindvall, C. (2023). Mitigating bias in AI at the point of care. *Science*, 381(6654). <https://doi.org/10.1126/science.adh2713>
- Ferrara, E. (2024). Fairness and bias in artificial intelligence: A brief survey of sources, impacts, and mitigation strategies. *Sci*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/sci6010003>
- Fuster, A., Goldsmith-Pinkham, P. S., Ramadorai, T., & Walther, A. (2021). Predictably unequal? The effects of machine learning on credit markets. *Journal of Finance*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3072038>
- Ghosal, I., & Hooker, G. (2020). Boosting random forests to reduce bias; One-step boosted forest and its variance estimate. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 30(2). <https://doi.org/10.1080/10618600.2020.1820345>
- Gilbert, S., Mehl, A., Baluch, A., Cawley, C., Challiner, J., Fraser, H., Millen, E., Montazeri, M., Multmeier, J., Pick, F., Richter, C., Türk, E., Upadhyay, S., Virani, V., Vona, N., Wicks, P., & Novorol, C. (2020). How accurate are digital symptom assessment apps for suggesting conditions and urgency advice? A clinical vignettes comparison to GPs. *BMJ Open*, 10(12), e040269. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-040269>
- Golden, S. H., Joseph, J. J., & Hill-Briggs, F. (2021). Casting a health equity lens on endocrinology and diabetes. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 106(4). <https://doi.org/10.1210/clinem.dgaa938>
- Hamilton, Z., Duwe, G., Kigerl, A., Gwinn, J., Langan, N., & Dollar, C. (2022). Tailoring to a mandate: The development and validation of the Prisoner Assessment Tool Targeting Estimated Risk and Needs (PATTERN). *Justice Quarterly*, 39(6). <https://doi.org/10.1080/07418825.2021.1906930>

- Jie, Z., Zhiying, Z., & Li, L. (2021). A meta-analysis of Watson for Oncology in clinical application. *Scientific Reports*, 11(1), 5792. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84973-5>
- Kudina, O., & de Boer, B. (2021). Co-designing diagnosis: Towards a responsible integration of Machine Learning decision-support systems in medical diagnostics. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 27(3). <https://doi.org/10.1111/jep.13535>
- Li, R., Kingsley, S., Fan, C., Sinha, P., Wai, N., Lee, J., Shen, H., Eslami, M., & Hong, J. (2023). Participation and division of labor in user-driven algorithm audits: How do everyday users work together to surface algorithmic harms? Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. <https://doi.org/10.1145/3544548.3582074>
- Martínez, N., Vinas, A., & Matute, H. (2021). Examining potential gender bias in automated-job alerts in the Spanish market. *PLoS ONE*, 16(12), e0260409. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260409>
- Noiret, S., Lumetzberger, J., & Kampel, M. (2021). Bias and fairness in computer vision applications of the criminal justice system. 2021 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 1–8. <https://doi.org/10.1109/SSCI50451.2021.9660177>
- Paredes Meneses, J. (2023). Aplicación informática para reconocimiento de la especie Camu Camu (Myrciaria Dubia) a través de redes neuronales convolucionales, en Iquitos Perú, durante el año 2017. Aplicación informática para reconocimiento de la especie Camu Camu (Myrciaria Dubia) a través de redes neuronales convolucionales, en Iquitos Perú, durante el año 2017. https://doi.org/10.37811/cli_w945
- Peng, Y. (2023). The role of ideological dimensions in shaping acceptance of facial recognition technology and reactions to algorithm bias. *Public Understanding of Science*, 32(2). <https://doi.org/10.1177/09636625221113131>
- Pérez López, J. I. (2023). Inteligencia artificial y contratación laboral. *Revista De Estudios Jurídico Laborales Y De Seguridad Social (REJLSS)*, 7, 186–205. <https://doi.org/10.24310/rejlss7202317557>
- Reyes Campos, J. E. M., Castañeda Rodríguez, C. S., Alva Luján, L. D., & Mendoza de los Santos, A. C. (2023). Sistema de reconocimiento facial para el control de accesos mediante inteligencia artificial. *Innovación y Software*, 4(1). <https://doi.org/10.48168/innosoft.s11.a78>
- Sanabria Moyano, J. E., Roa Avella, M. del P., & Lee Pérez, O. I. (2022). Tecnología de reconocimiento facial y sus riesgos en los derechos humanos. *Revista Criminalidad*, 64(3), 61–78. <https://doi.org/10.47741/17943108.366>
- Santiago Arenas, A., Samboni, O., Villegas Trujillo, L. M., Zamora Córdoba, I., & Alfonso Morales, G. (2023). Tratamiento de la hipersensibilidad dentinaria primaria: Revisión exploratoria. *Salud Uninorte*, 39(3), 1120–1152. <https://doi.org/10.14482/sun.39.03.741.258>
- Seyyed-Kalantari, L., Zhang, H., McDermott, M. B. A., Chen, I. Y., & Ghassemi, M. (2021). Underdiagnosis bias of artificial intelligence algorithms applied to chest radiographs in under-served patient populations. *Nature Medicine*, 27(12). <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01595-0>
- Simonetta, A., Trenta, A., Paoletti, M. C., & Vetrò, A. (2021). Metrics for identifying bias in datasets. *CEUR Workshop Proceedings*, 3118.
- Tang, L., Li, J., & Fantus, S. (2023). Medical artificial intelligence ethics: A systematic review of empirical studies. *Digital Health*, 9. <https://doi.org/10.1177/20552076231186064>
- Tsamados, A., Aggarwal, N., Cows, J., Morley, J., Roberts, H., Taddeo, M., & Floridi, L. (2022). The ethics of algorithms: Key problems and solutions. *AI and Society*, 37(1). <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01154-8>
- Varona, D., & Suárez, J. L. (2022). Discrimination, bias, fairness, and trustworthy AI. *Applied Sciences*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/app12125826>
- Vela, M. B., Erundu, A. I., Smith, N. A., Peek, M. E., Woodruff, J. N., & Chin, M. H. (2022). Eliminating explicit and implicit biases in health care: Evidence and research needs. *Annual Review of Public Health*, 43. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-052620-103528>
- Wang, S., & Wang, H. (2020). Big data for small and medium-sized enterprises (SME): A knowledge management model. *Journal of Knowledge Management*, 24(4), 881–897. <https://doi.org/10.1108/JKM-02-2020-0081>
- Yu, Y., & Saint-Jacques, G. (2022). Choosing an algorithmic fairness metric for an online marketplace: Detecting and quantifying algorithmic bias on LinkedIn. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2202.07300>
- Zhang, J. (2016). Testing the predictive validity of the LSI-R using a sample of young male offenders on probation in Guangzhou, China. *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology*, 60(4). <https://doi.org/10.1177/0306624X14557471>





Mejores prácticas para la implementación de Fog Computing: Análisis de casos de éxito

Best Practices for Fog Computing Implementation: Analysis of Success Cases

Autores

* **Abraham Moises Echeverría Salazar**

✉ aecheverr2@utmachala.edu.ec

Mariuxi Paola Zea Ordoñez

✉ mzea@utmachala.edu.ec

Oscar Efrén Cárdenas Villavicencio

✉ oocardenas@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala,
Facultad de Ingeniería Civil, Machala,
El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Echeverría Salazar, A.M., Zea Ordoñez, M.P. & Cárdenas Villavicencio, O.E. 2025. Mejores prácticas para la implementación de Fog Computing: Análisis de casos de éxito. *Informática y Sistemas*. 9(1), pp. 52-69. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7323>

Enviado: 10/02/2025

Aceptado: 24/04/2025

Publicado: 25/04/2025

Resumen

El Fog Computing se ha convertido en una tecnología clave para mejorar el procesamiento y almacenamiento de datos en la agricultura, la salud y las ciudades inteligentes, acercando la computación al punto de generación de datos. Este estudio lleva a cabo una revisión sistemática sobre la aplicación de esta tecnología en los sectores mencionados, con el propósito de identificar las mejores prácticas basándose en casos de éxito, empleando la metodología PRISMA. Se examinaron 43 investigaciones publicadas entre 2020 y 2024, evaluando aspectos como la seguridad, interoperabilidad, escalabilidad y eficiencia operativa. A partir del análisis, se identificaron beneficios clave y desafíos pendientes en la adopción del Fog Computing, lo que permitió proponer un conjunto de mejores prácticas que abordan aspectos críticos, como la interoperabilidad, la optimización del procesamiento distribuido y la integración con infraestructuras existentes. Esta propuesta tiene como objetivo ofrecer un marco de referencia para la adopción de Fog Computing en sectores clave, con el propósito de asistir a las organizaciones en la optimización de sus procesos y en el aprovechamiento más eficaz de los beneficios que brinda esta innovación.

Palabras clave: Fog Computing; agricultura; salud; ciudades inteligentes; mejores prácticas.

Abstract

Fog Computing has emerged as a key technology for enhancing data processing and storage in agriculture, healthcare, and smart cities by bringing computing closer to the data generation point. This study provides a systematic literature review on the adoption methodology. Studies published between 2020 and 2024 were analyzed, aspects such as interoperability, scalability security, and operational efficiency were evaluated. This analysis identifies the key benefits and challenges associated with the adoption of Fog Computing, allowing for the development of a set of best practices that tackle critical issues such as interoperability, optimization of distributed processing, and integration with existing infrastructures. This proposal is intended to provide a framework for the implementation of Fog Computing in key sectors, supporting organizations in enhancing their processes and optimizing the benefits that this innovation can offer more effectively.

Keywords: Fog Computing; agriculture; healthcare; smart cities; best practices.



1. Introducción

Para 2025, se estima que el número de dispositivos IoT conectados superará los 500 mil millones, generando volúmenes de datos sin precedentes (Alharbi et al., 2022). Este crecimiento exponencial plantea un desafío crítico en la gestión y procesamiento de datos en tiempo real, específicamente en sectores como la agricultura, la salud y las ciudades inteligentes. Para abordar esta problemática, el Fog Computing surge como una arquitectura innovadora que amplía las capacidades de la computación en la nube hasta los extremos de la red, acercando los recursos computacionales al origen de los datos (Kopras, et al., 2022). A medida que las redes 5G y el Internet de las cosas (IoT) continúan expandiéndose, el Fog Computing se posiciona como una solución clave para reducir la latencia, mejorar la seguridad y optimizar el consumo energético en entornos distribuidos, impulsando así una mayor eficiencia y sostenibilidad en sectores estratégicos como la agricultura (Wang et al. 2020).

El concepto de Fog Computing, introducido por Bonomi et al. (2012) en Cisco Systems, surgió como respuesta a las limitaciones de la computación en la nube, especialmente en aplicaciones donde la latencia, el ancho de banda y la privacidad son aspectos críticos. No obstante, a pesar de su creciente adopción, esta tecnología enfrenta importantes desafíos, como la falta de estandarización en su implementación, la seguridad de los datos y su integración con tecnologías complementarias como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) (Al Yarubi, et al., 2025).

Diversos estudios han abordado los fundamentos y aplicaciones del Fog Computing. Por ejemplo, Kirsanova et al. (2021) analizaron el estado del arte de las plataformas de Fog Computing, estableciendo una clasificación que facilita el desarrollo de sistemas de computación distribuidos. Por su parte, Songhorabadi et al. (2021) ofrecieron un enfoque centrado en ciudades inteligentes, presentando una revisión exhaustiva de las aplicaciones y desafíos actuales. A pesar de estos avances, persiste una brecha en la literatura respecto a estrategias unificadas para abordar problemas de seguridad y escalabilidad en arquitecturas distribuidas.

El propósito de esta revisión bibliográfica es analizar de manera integral los desarrollos más recientes en el campo del Fog Computing, identificando tanto sus oportunidades como las limitaciones que aún enfrenta esta tecnología. A través de un enfoque sistemático, el artículo sintetiza las contribuciones clave de la literatura, proporcionando una visión crítica de los avances actuales y de las áreas que requieren una investigación más profunda.

Para ello, se ha llevado a cabo una revisión sistemática de

la literatura (RSL), consultando bases de datos académicas reconocidas como IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI entre otras. Se seleccionaron 43 artículos publicados entre 2020 y 2024 que abordan aplicaciones, arquitecturas y desafíos del Fog Computing, excluyendo aquellos de enfoque marginal o tangencial. Los estudios fueron evaluados en función de su relevancia, impacto y contribuciones al campo mediante técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo.

Este análisis permitirá comprender los avances que han posicionado al Fog Computing como una solución prometedora, así como los retos que aún limitan su adopción a gran escala. La revisión busca una base sólida para investigadores y profesionales interesados en el desarrollo y aplicación de esta tecnología en entornos distribuidos, con un enfoque particular en sus aplicaciones en salud, agricultura y ciudades inteligentes.

2. Marco teórico

2.1 Definición de Fog Computing

Fog Computing es un paradigma de computación distribuida que extiende las capacidades de la computación en la nube al borde de la red. Fue introducido por Cisco en 2012 (Bonomi et al. 2012), como una solución para reducir la latencia y mejorar la eficiencia en el procesamiento de datos en tiempo real. En este modelo, los datos se procesan localmente en dispositivos intermedios llamados nodos niebla (fog nodes), en lugar de ser enviados a la nube para su procesamiento.

2.2 Arquitectura de Fog Computing

Según Rodríguez y Moreira (2025), en su obra la arquitectura de Fog Computing se organiza en tres niveles principales que trabajan de manera complementaria para ofrecer soluciones eficientes en entornos distribuidos y con requisitos de baja latencia:

Dispositivos de borde (Edge Devices): Son los sensores, cámaras y dispositivos IoT que se encuentran en el punto de captura de datos. Estos dispositivos generan grandes volúmenes de datos en tiempo real, y a menudo operan en el entorno físico cercano al usuario o al objeto monitoreado. Estos dispositivos pueden incluir, por ejemplo, sensores de temperatura, cámaras de seguridad o medidores inteligentes, que recopilan datos cruciales para procesos y operaciones inmediatas.

Nodos de niebla (Fog Nodes): Estos son servidores intermedios o gateways que se sitúan entre los dispositivos de borde y la nube. Su principal función es procesar y almacenar datos localmente, lo que reduce la carga de trabajo en la nube y disminuye la latencia al permitir que el procesamiento se realice más cerca de la fuente de datos. Los nodos de niebla

gestionan tareas como el filtrado, análisis preliminar y agregación de datos, optimizando la eficiencia y la velocidad del sistema, sin necesidad de enviar toda la información a la nube central para su procesamiento.

Nube central (Cloud): Es la infraestructura de almacenamiento y procesamiento a largo plazo. A pesar de que los dispositivos de borde y los nodos de niebla son responsables del procesamiento inmediato y local, la nube sigue siendo crucial para almacenar grandes volúmenes de datos históricos, realizar análisis complejos y proporcionar servicios avanzados de inteligencia artificial y aprendizaje automatizado. Además, la nube central coordina la comunicación y sincronización entre los nodos distribuidos y asegura la escalabilidad del sistema.

En la figura 4 se muestra la Arquitectura general con las capas, egde, fog y cloud.

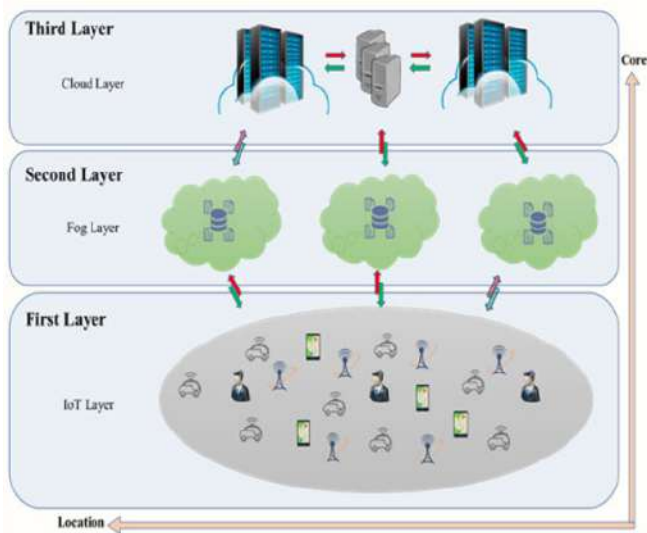


Figura 4. Fuente: Adaptado de Abdali et al. (2021).

2.3 Comparación entre Fog Computing, Edge Computing y Cloud Computing

Tabla 5. Tabla comparativa entre Edge, fog y cloud.

Característica	Cloud Computing	Edge Computing	Fog Computing
Latencia	Alta	Baja	Media
Procesamiento de datos	Centralizado	En el borde	Distribuido
Seguridad	Moderada	Alta	Alta
Costos operativos	Elevados	Moderados	Moderados
Aplicaciones	Big Data, AI	IoT local	IoT distribuido, Smart Cities

Mientras que Cloud Computing centraliza los recursos de procesamiento, Edge Computing los distribuye en los dispositivos de borde, y Fog Computing crea una capa intermedia para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad en la transmisión de datos.

2.4 Ventajas y Desventajas de Fog Computing

Ventajas de Fog Computing

- **Reducción de latencia.** Fog Computing permite procesar los datos más cerca de su origen, lo que reduce considerablemente la latencia en comparación con la computación en la nube. Este enfoque es especialmente beneficioso en aplicaciones que requieren respuestas rápidas, ya que evita la necesidad de enviar grandes volúmenes de datos a servidores remotos para su procesamiento. Kopras et al. (2022) destacan que el procesamiento en nodos de niebla disminuye la latencia y optimiza el rendimiento de aplicaciones en tiempo real. Además, Oayyum et al. (2021) mencionan que Fog Computing mejora la calidad del servicio en entornos urbanos al reducir la latencia en aplicaciones de ciudades inteligentes.

- **Mayor seguridad.** Mantener los datos cerca de su origen minimiza el riesgo de ataques en la nube y mejora la privacidad. Nuñez-Gómez et al. (2021) enfatizan que la integración de Fog Computing con blockchain fortalece la seguridad y reduce vulnerabilidades en infraestructuras distribuidas.

- **Optimización del ancho de banda.** Fog Computing reduce la cantidad de datos transmitidos a la nube, disminuyendo los costos de red. Zhang et al. (2020) resaltan que esta tecnología disminuye la sobrecarga de la nube al procesar datos localmente en aplicaciones agrícolas, lo que mejora la eficiencia del sistema.

- **Mejor interoperabilidad.** Fog Computing facilita la integración con dispositivos IoT y otros sistemas inteligentes, Ouyyum et al. (2021) mencionan que esta tecnología mejora la interoperabilidad en entornos urbanos mediante el uso de arquitecturas colaborativas para compartir recursos.

Desventajas de Fog Computing

- **Costos de infraestructura.** La implementación de Fog Computing requiere inversión en hardware adicional, como servidores de borde y dispositivos IoT mejorados. Nuñez-Gómez et al. (2021) mencionan que los costos iniciales de infraestructura pueden ser una barrera para la adopción masiva de esta tecnología.

- **Complejidad en la gestión.** Administrar y mantener múltiples nodos niebla es más complicado que gestionar una infraestructura centralizada. Qayyum et al. (2021) destacan que la coordinación de nodos en entornos urbanos introduce desafíos adicionales en la administración y gestión de recursos.

- **Problemas de estandarización.** La falta de regulaciones universales dificulta la adopción generalizada de Fog Computing. Zhang et al. (2020) mencionan que la ausencia de



estándares unificados limita la interoperabilidad en entornos agrícolas, lo que representa un obstáculo para su integración efectiva.

2. Materiales y Métodos

3.1 Palabras Clave y Cadenas de Búsqueda

Este análisis sistemático de la literatura se enfoca en tres preguntas de investigación relacionadas con la implementación del Fog Computing en la agricultura, la salud y las ciudades inteligentes:

- RQ1: ¿Cuáles son los principales obstáculos tecnológicos para la adopción del Fog Computing en el sector agrícola? Esta pregunta busca identificar y analizar barreras tecnológicas que dificultan la adopción del Fog Computing en este sector. Comprender estos obstáculos es fundamental para desarrollar estrategias efectivas que superen los desafíos y promuevan la implementación del Fog Computing, mejorando así la eficiencia y competitividad en la agricultura mediante soluciones tecnológicas.
- RQ2: ¿Qué mejores prácticas pueden maximizar la seguridad en la implementación del Fog Computing en el sector de la salud? Esta pregunta tiene como objetivo investigar y definir mejores prácticas que puedan maximizar la seguridad en la implementación del Fog Computing en el sector de la salud. Dada la sensibilidad de los datos en este sector, es crucial asegurar la seguridad de la información.
- RQ3: ¿Cómo puede la implementación del Fog Computing mejorar la eficiencia operativa en infraestructuras de ciudades inteligentes? Esta pregunta se centra en analizar como la adopción del Fog Computing optimiza el rendimiento de los sistemas urbanos inteligentes, permitiendo el procesamiento de datos en tiempo real. El objetivo es demostrar que esta tecnología puede reducir la latencia, mejorar la capacidad de respuesta y optimizar la gestión de recursos en aplicaciones clave como la movilidad urbana, la gestión del tráfico, el monitoreo ambiental y la automatización de servicios públicos.

Se diseñaron cadenas de búsqueda utilizando palabras clave y operadores booleanos para responder a las preguntas de investigación.

- Para RQ1: (Adoption OR Implementation) AND (Fog Computing) AND (Agriculture).
- Para RQ2: (Integration) AND (Fog Computing) AND (Health).
- Para RQ3: (Operational efficiency) AND (Adoption OR Implementation) AND (Fog Computing) AND (Smart Cities).

El uso de combinaciones específicas de palabras clave y operadores booleanos permitió realizar búsquedas focalizadas en las bases de datos seleccionadas, facilitando la identificación de estudios relevantes para cada sector: agricultura, salud y

ciudades inteligentes. Estas estrategias optimizan la recuperación de artículos pertinentes, asegurando que estén alineados con los objetivos de la investigación. Al emplear términos como adoption, implementation, integration y operational efficiency junto con Fog Computing, se cubren tanto la adopción de la tecnología como su impacto en cada contexto particular.

Además, el diseño de estas cadenas de búsqueda, vinculado a las preguntas de investigación (RQ1, RQ2 y RQ3), contribuye a una revisión sistemática robusta y coherente. Esta práctica es fundamental en la literatura científica, ya que orienta el proceso de selección de estudios y permite identificar posibles brechas para futuras investigaciones en el ámbito del Fog Computing.

3.2 Criterios de Inclusión y Exclusión

Para delimitar el alcance de esta revisión sistemática, se determinaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

3.3 Bases de Datos que fueron utilizadas

Tabla 1. Criterios para incluir y excluir trabajos.

Criterios	Inclusión	Exclusión
Tipo de documento	Artículos	Tesis
Año de publicación	Últimos cuatro años (2020-2024)	Antes de 2020
Tema relacionado con Fog Computing	Sí	No
Enfoque en sectores específicos	Sí (agricultura, salud, smart cities)	No
Artículos escritos en idioma accesible	Español, inglés	Otros idiomas
Acceso gratuito	Sí	No

Se consultaron cinco bases de datos para llevar a cabo la búsqueda de artículos relacionados con las mejores prácticas en la implementación de Fog Computing:

- IEEE XPORE
- MDPI
- ScienceDirect
- DOAJ
- PubMed

Se seleccionaron estas bases de datos por su amplia cobertura y relevancia en el campo del Fog Computing, siguiendo la metodología de revisión sistemática de la literatura planteada por Sanguino Reyes (2020) para el ámbito de las tecnologías de la información. MDPI proporciona acceso abierto a investigaciones multidisciplinarias sobre tecnologías emergentes, mientras que ScienceDirect, es una fuente clave de la literatura científica de gran impacto en disciplinas como informática e ingeniería. DOAJ garantiza la incorporación de investigaciones de acceso abierto y revisadas por pares. Por último, PubMed, aunque se centra en ciencias de la salud, es fundamental para explorar aplicaciones del Fog Computing en el ámbito médico. IEEE Xplore, por su parte, es fundamental debido a su enfoque en publicaciones de ingeniería, informática y tecnologías emergentes, proporcionando acceso a artículos de conferencias y revistas de alto impacto que abordan directamente desarrollos técnicos y aplicaciones innovadoras en Fog Computing.

La elección de estas bases de datos se basa en las mejores prácticas para revisiones sistemáticas en ciencias de la computación, tal como se señala en el estudio de Bavaresco et. Al (2020). Siguiendo el enfoque de dicho estudio, se optó por combinar fuentes que proporcionan tanto investigaciones de gran impacto como literatura de acceso abierto además de fuentes específicas del campo, con el fin de obtener una visión integral y complementaria del estado del arte en Fog Computing.

3.4 Herramientas de Análisis y Graficación

Para el análisis de datos y la elaboración de gráficos en este estudio, se utilizó Python como lenguaje de programación principal, ejecutado en el entorno de Google Colab. Hao y colega (2019) manifiestan que esta plataforma facilita la ejecución de código en la nube, permitiendo un análisis eficiente y reproducible de los resultados. Las principales librerías empleados fueron:

- NumPy: Utilizada para el manejo de estructura de datos numéricos y la realización de cálculos matemáticos, lo cual resultó fundamental en el procesamiento de datos cuantitativos obtenidos de los estudios revisados.
- Matplotlib: Empleada para la visualización de datos a través de gráficos de barras, líneas y diagramas comparativos, lo que permitió ilustrar de manera clara la distribución de publicaciones, la evolución temporal de investigaciones y la comparación de resultados entre sectores.
- Graphviz: Utilizada para la creación de diagramas de flujo, específicamente en la elaboración del diagrama PRISMA, facilitando la representación visual del proceso de selección de estudios de forma estructurada y comprensible.

El uso de estas herramientas contribuyó significativamente al análisis de la información, permitiendo obtener visualizaciones precisas y apoyar la interpretación de los hallazgos de la revisión sistemática.

3.5 Metodología de PRISMA

Esta investigación se fundamenta en la metodología PRISMA (Page et al., 2021), un marco reconocido por su utilidad en la organización de revisiones sistemáticas de la literatura. Esta

metodología permite mantener la claridad y el orden en la exposición de los resultados (Lamar Peña et al., 2024). Por otro lado, otros estudios, como el de Cárdenas Villavicencio et al. (2024), subrayan la relevancia de PRISMA para llevar a cabo una identificación, selección y síntesis rigurosa y sistemática de la literatura relevante.

3.5.1 Resultados de PRISMA

La revisión sistemática de la literatura sobre Fog Computing, enfocada en aplicaciones en agricultura, salud y ciudades inteligentes, abarcó publicaciones en inglés y español entre 2020 y 2024, siguiendo la metodología PRISMA, representada en la Figura 1. El proceso se desarrolló en cuatro etapas: Identificación, Selección, Elegibilidad e Inclusión, descritas a continuación:

- **Identificación:** Se recopilaron un total de 560 registros mediante búsquedas exhaustivas en bases de datos académicas relevantes como IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI, DOAJ y PubMed. Además, se identificaron 5 registros adicionales a través de otras fuentes, como referencias bibliográficas y citas en estudios relacionados. Esta fase tuvo como objetivo reunir el mayor número posible de investigaciones relevantes sobre Fog Computing en los sectores de agricultura, salud y ciudades inteligentes, sin restricciones iniciales sobre el tipo de aplicación.
- **Selección:** Tras eliminar los registros duplicados, se obtuvieron 480 estudios únicos. A continuación, se aplicaron criterios de selección inicial, excluyendo 80 artículos que no cumplían con los requisitos básicos de año de publicación (anteriores a 2020) o idioma (no disponibles en inglés o español). De este modo, 400 artículos fueron considerados para la fase de elegibilidad.
- **Elegibilidad:** En esta etapa, se realizó una revisión del texto completo de 71 artículos, evaluando su pertinencia en función de criterios como el enfoque en Fog Computing, la calidad metodológica y la aplicación en casos concretos dentro de los sectores mencionados. Como resultado, se excluyeron 28 estudios que no cumplían con los criterios de elegibilidad debido a limitaciones en la metodología, falta de datos específicos o enfoques que se alejaban del objetivo principal de la investigación.
- **Inclusión:** Finalmente, se incluyeron 43 estudios en la síntesis cualitativa. Estos trabajos ofrecen evidencia relevante sobre la implementación de Fog Computing en contextos de agricultura inteligente, sistemas de salud y ciudades inteligentes, destacándose por su calidad metodológica, su contribución al análisis del impacto de esta tecnología y su relevancia para los sectores analizados.

Si bien las bases de datos consultadas abarcan una amplia cantidad de artículos relacionados con Fog Computing, el proceso de selección en esta revisión se llevó a cabo de manera rigurosa, siguiendo criterios específicos de inclusión. Estos criterios incluyeron la relevancia temática para los sectores de agricultura, salud y ciudades inteligentes, la calidad metodológica de los estudios, así como el periodo de publicación establecido entre 2020 y 2024. Como resultado, el número final de 43 artículos constituye una muestra representativa que refleja adecuadamente el estado del arte en los sectores analizados, garantizando la calidad, validez y pertinencia de los estudios seleccionados para esta revisión.



4. Discusión de resultados

4.1 Análisis sobre la Distribución de Publicaciones

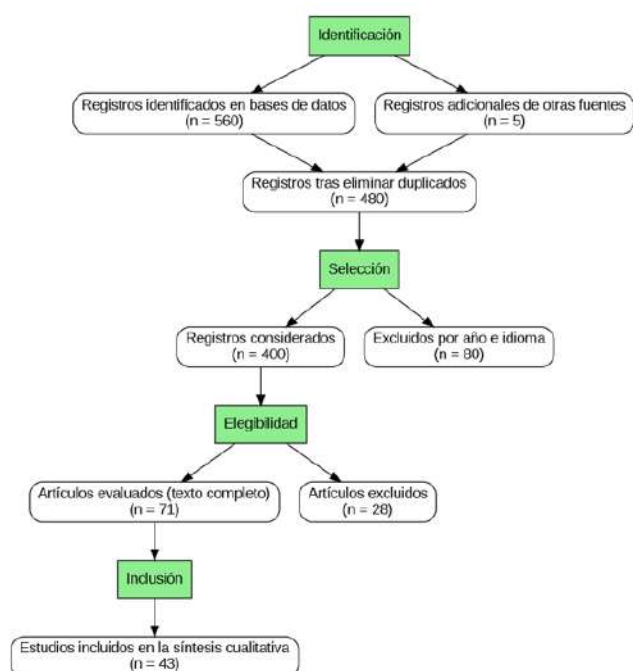


Figura 1. Proceso para la inclusión de artículos conforme a PRISMA.

La Figura 2 ilustra la distribución de las publicaciones según la base de datos y el sector (Agricultura, Salud, Ciudades Inteligentes).

La Figura 2 muestra la distribución de las 43 publicaciones por base de datos y sector, considerando las áreas de agricultura, salud, smart cities y otros. IEEE Xplore, destaca como la base de datos con el mayor número de publicaciones, abarcando de manera equilibrada los tres sectores principales, lo que refleja su

relevancia en el ámbito de la información y la ingeniería. Le sigue DOAJ, con una presencia significativa en artículos de acceso abierto, especialmente en los sectores de agricultura y salud.

ScienceDirect y PubMed presentan una distribución más equilibrada, aunque con un enfoque ligeramente mayor en el sector de salud, lo cual está en línea con el enfoque biomédico de PubMed. Sin embargo, es importante destacar que PubMed muestra una menor representación en el área de agricultura, lo cual podría deberse a su orientación hacia ciencias de la salud, más que a una falta de relevancia en el campo de Fog Computing.

Por su parte, MDPI contribuye con una cantidad considerable de publicaciones en agricultura y salud, lo que refuerza su papel en la difusión de investigaciones en tecnologías emergentes. Finalmente, la categoría de “Otras” bases de datos, aunque con menor cantidad de artículos, evidencia la diversidad de fuentes utilizadas para obtener una visión integral del estado del arte.

El análisis sugiere que los sectores de agricultura y salud concretan la mayor parte de la producción académica relacionada con Fog Computing, mientras que el área de smart cities también muestra una presencia significativa. No obstante, el menor número de publicaciones en ciertas áreas específicas podría representar oportunidades para futuras investigaciones, especialmente considerando el potencial de Fog Computing en la optimización de sistemas urbanos y de salud.

4.2 Estudio sobre la distribución de publicaciones según año y categoría

La Figura 3 ilustra la evolución de las publicaciones sobre Fog Computing en los sectores de agricultura, salud y smart cities entre 2020 y 2024. Se observa que en el período 2020-2021, existe constancia en la cantidad de publicaciones relacionadas a Fog Computing, pero en 2022, se produce un declive en las investigaciones debido a factores como el COVID-19, pandemia que afectó y pausó las investigaciones. En los dos siguientes

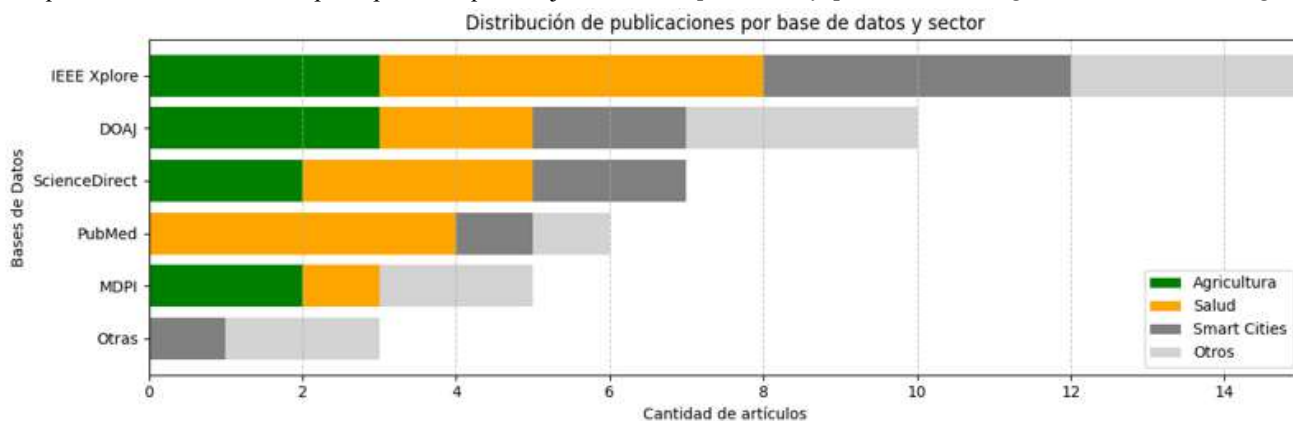


Figura 2. Distribución de publicaciones según base de datos y categoría.

años, las investigaciones aumentaron debido a la adopción de otras tecnologías como 5G y Edge AI, lo que refleja un interés creciente en la investigación y aplicación de esta tecnología.

El crecimiento de las publicaciones sobre Fog Computing refleja su relevancia en sectores clave como la salud, agricultura y smart cities. En salud, destaca su aplicación en el monitoreo de pacientes en tiempo real, la gestión de datos médicos y la mejora de la seguridad, impulsada por el uso de tecnologías como blockchain y aprendizaje federado para optimizar la privacidad e interoperabilidad. En agricultura, su adopción se

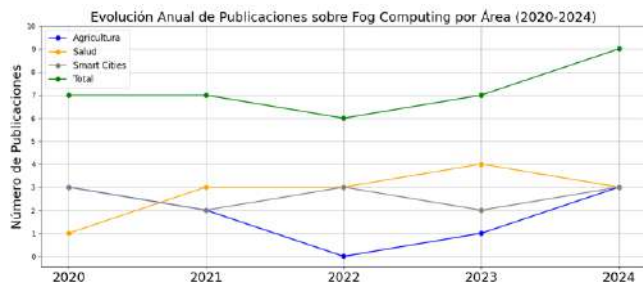


Figura 3. Evolución Anual de Publicaciones sobre Fog Computing por Área (2020-2024).

debe a la exigencia de procesar datos en tiempo real para mejorar la privacidad e interoperabilidad. En el ámbito agrícola, su implementación responde a la misma necesidad de procesamiento en tiempo real desde sensores IoT, mejorando la gestión de cultivos, la eficiencia de recursos y la detección temprana de anomalías. Por su parte, en smart cities, el Fog Computing facilita la optimización del tráfico, la gestión de la energía y la seguridad urbana, debido a su capacidad para manejar grandes cantidades de datos de forma eficiente en entornos complejos.

En conjunto, estos resultados reflejan la maduración del campo del Fog Computing, con un incremento en la diversidad de aplicaciones y sectores. Aunque se observa un crecimiento constante, los desafíos en términos de interoperabilidad, seguridad y escalabilidad siguen siendo áreas críticas para futuras investigaciones, lo que sugiere que el potencial del Fog Computing aún está en expansión y continuará evolucionando en los próximos años.

4.3 Metodología de Extracción de Buenas Prácticas

4.3.1 Delimitación del uso de normas ISO

Las normas ISO/IEC 30161-1:2022, ISO/IEC 30141:2018, e ISO/IEC 21823-2:2020 han sido adoptadas como marco de referencia para la identificación de buenas prácticas en Fog Computing debido a su aplicabilidad y relevancia en este ámbito. Además, se consideran otras normativas internacionales como ISO/IEC 27001:2013 y ISO/IEC 27017:2015, fundamentales para la gestión de la seguridad de la información en entornos distribuidos. Estas normas abordan la protección de datos sensibles y la gestión de riesgos en entornos de computación en la nube.

La norma ISO/IEC 25010:2011 ofrece un modelo de calidad de software que resulta clave para evaluar la eficiencia operativa e

interoperabilidad en las soluciones de Fog Computing. La ISO/IEC 2000-1:2018, centrada en la gestión de servicios de TI, permite optimizar la entrega y operación de servicios basados en esta tecnología, mientras que la ISO/IEC 22301:2019 establece directrices para la continuidad del negocio, asegurando la resiliencia y escalabilidad de las infraestructuras. Finalmente, la ISO/IEC 19770-1:2017 contribuye a la gestión de activos de TI, mejorando el cumplimiento de objetivos estratégicos del negocio.

En conjunto, estas normativas proporcionan un marco sólido para la evaluación y adopción de buenas prácticas de Fog Computing, asegurando que se consideren los aspectos técnicos, operativos y de seguridad fundamentales para su correcta implementación.

4.3.2 Criterios para determinar un caso de éxito en Fog Computing

Para identificar implementaciones exitosas de Fog Computing, se han establecido criterios clave basados en las normas ISO/IEC 30161-1:2020, ISO/IEC 30141:2018 e ISO/IEC 21823-2:2020. Estos criterios garantizan que la adopción de Fog Computing se realice de manera eficiente y alineada con los estándares internacionales.

Estos criterios permiten evaluar la efectividad y el impacto de las implementaciones de Fog Computing, asegurando que las soluciones desplegadas cumplan con los estándares de seguridad,

Tabla 2. Factores para identificar un caso exitoso en la adopción de Fog Computing.

Criterio	Descripción	Norma de Referencia
Seguridad	Asegurar la protección de los datos y la infraestructura mediante la implementación de medidas de seguridad apropiadas.	ISO/IEC 30141:2018
Interoperabilidad	Capacidad del sistema para integrarse con diversas plataformas y dispositivos IoT sin comprometer el rendimiento o la funcionalidad.	ISO/IEC 21823-2:2020
Eficiencia operativa	Optimización del uso de recursos, reducción de latencia y mejora del rendimiento en la gestión de datos en tiempo real.	ISO/IEC 20000-1:2018, ISO/IEC 25010:2011
Escalabilidad	Potencial para crecer y expandirse sin disminuir el rendimiento ante un incremento en la carga y el volumen de datos.	ISO/IEC 30161-1:2020, ISO/IEC 22301:2019
Cumplimiento de requisitos específicos del negocio	Cumplimiento de las necesidades y objetivos específicos de la organización, en línea con sus estrategias, y generando beneficios concretos.	ISO/IEC 19770-1:2017, ISO/IEC 20000-1:2018

Fuente: Los autores, adaptado de (ISO/IEC, 2020).

interoperabilidad y eficiencia necesarios para un despliegue exitoso.

4.3.3 Criterios para evaluar buenas prácticas en Fog Computing

Para analizar las prácticas aplicadas en casos exitosos de Fog Computing, se han definido los siguientes criterios:

Para la evaluación de los estudios analizados, se empleó la siguiente escala:

Estos criterios permiten evaluar la aplicabilidad y efectividad de las buenas prácticas de Fog Computing, asegurando que las soluciones implementadas cumplan con los estándares de seguridad, interoperabilidad, eficiencia operativa y escalabilidad.

4.4 Aplicaciones de Fog Computing en Sectores Clave

4.4.1 Aplicación de Fog Computing en Agricultura

Tabla 3. Criterios de evaluación para buenas prácticas en Fog Computing

Criterio	Descripción
Seguridad	Implementación de mecanismos de protección de datos y mitigación de amenazas para garantizar la confidencialidad e integridad de la información.
Interoperabilidad	Capacidad del sistema para integrarse con diversas plataformas y dispositivos IoT sin comprometer el rendimiento o la funcionalidad.
Eficiencia operativa	Optimización del uso de recursos, reducción de latencia y mejora del rendimiento en la gestión de datos en tiempo real.
Escalabilidad	Posibilidad de expandir la infraestructura de Fog Computing sin afectar la eficiencia o comprometer la estabilidad del sistema.

Fuente: Los autores, adaptado de (ISO/IEC, 2020).

Tabla 4. Escala de valoración para criterios de buenas prácticas

Calificación	Significado
Sí	Cumple el criterio.
No	No cumple el criterio.
Parcial	Cumple parcialmente el criterio.
N/A	No aplica o no se menciona en el estudio.

El sector agrícola ha experimentado una adopción significativa de Fog Computing debido a la necesidad de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real desde sensores IoT distribuidos en el campo. En particular, destacan las soluciones que optimizan la gestión de cultivos, la irrigación inteligente y la previsión climática.

Los estudios revisados muestran que la arquitectura de Fog Computing permite reducir la latencia en la toma de decisiones, proporcionando información en tiempo real sobre el estado de los cultivos y las condiciones del entorno. Un ejemplo es el uso de sistemas de irrigación inteligentes basados en IoT, donde el procesamiento local de datos permite ajustes inmediatos, mejorando la eficiencia en el uso del agua y otros recursos (Chen et al., 2023)

Un avance significativo en esta área es el uso de procesamiento de imágenes para el monitoreo agrícola, donde las técnicas de aprendizaje profundo se aplican a la detección temprana de enfermedades en cultivos Markovic et al. (2024) presentan un modelo basado en redes neuronales convolucionales (CNN) para la clasificación de imágenes agrícolas en dispositivos de Fog Computing, demostrando una mejora en la eficiencia operativa al reducir la dependencia de la nube y permitir una respuesta más rápida ante anomalías.

Asimismo, estudios como los de Hong et al. (2024) exploran la implementación de sistemas de agricultura inteligente basados en Fog Computing, destacando que esta tecnología puede reducir el tráfico de red hasta en un 26% en comparación con sistemas basados solo en la nube, optimizando la comunicación en entornos rurales y mejorando la toma de decisiones en el campo.

En términos de optimización energética, Alharbi y Aldossary (2021) proponen un método para asignación de tareas en redes de Fog Computing con restricciones de latencia, lo que podría beneficiar aplicaciones agrícolas al reducir tiempos de procesamiento y mejorar la gestión de recursos. Además, lee et al. (2020) abordan el uso de aprendizaje federado en entornos agrícolas, permitiendo la integración de modelos de aprendizaje sin necesidad de compartir los datos a nivel central, lo que mejora la privacidad y la eficiencia operativa.

A pesar de estos avances, persisten desafíos en la seguridad y la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes. Rehman & Alhardi (2025) proponen el uso de blockchain en ecosistemas Fog-Coud para mejorar la integridad de los datos y la escalabilidad en la agricultura inteligente, asegurando que las transacciones y la comunicación entre sensores sean seguras y eficientes. Uno de los principales problemas en la agricultura es la falta de protocolos unificados para sensores IoT lo que dificulta la interoperabilidad entre plataformas y dispositivos de diferentes fabricantes. Para abordar este desafío, estándares abiertos como OPC.UA y MQTT han sido propuestos como soluciones viables para garantizar la comunicación eficiente entre dispositivos agrícolas.

En conclusión, el Fog Computing ha demostrado ser una herramienta clave en la modernización de la agricultura, permitiendo procesamiento distribuido, reducción de latencia



y mejor uso de recursos. Sin embargo, la estandarización, la seguridad y la optimización de infraestructuras siguen siendo áreas de investigación abiertas para garantizar una integración más eficiente y escalable de esta tecnología.

4.4.2 Aplicación de Fog Computing en Salud

El sector de la salud ha demostrado ser uno de los campos con mayor potencial para la aplicación de Fog Computing, especialmente en el monitoreo de pacientes en tiempo real, la gestión de datos médicos y la toma de decisiones clínicas rápidas. Las aplicaciones incluyen desde el monitoreo remoto de pacientes hasta la predicción de enfermedades crónicas mediante dispositivos médicos IoT conectados a redes Fog Computing.

Uno de los aspectos más relevantes en esta área es la seguridad y privacidad de los datos médicos. Shynu et al. (2023) destacan la importancia de Blockchain en entornos de Fog Computing para mejorar la protección de datos en aplicaciones médicas, específicamente en la predicción de enfermedades cardiovasculares y diabéticas.

En esta línea, Rehman y Alharbi (2025) proponen un modelo basado en Blockchain bioinspirado que mejora la escalabilidad y seguridad en redes de sensores de salud integradas con Fog-Cloud Computing, lo que fortalece la integridad de los datos médicos en sistemas distribuidos.

Otro hallazgo clave es la falta de estandarización en los dispositivos médicos conectados, lo que dificulta la interoperabilidad entre plataformas de salud y sistemas de Fog Computing. Dutta et al. (2023) resaltan la necesidad de metodologías de balanceo de carga para optimizar los recursos computacionales distribuidos en sistemas de monitoreo de salud.

Este problema también es abordado en el trabajo de Alwakeel & Alnaim (2024), quienes presentan el modelo CyberGuard, un marco de gestión de confianza y optimización de recursos en entornos de Fog Computing para aplicaciones de salud.

Desde una perspectiva de inteligencia artificial, Kim et al. (2023) presentan FETCH, un entorno basado en Deep Learning integrado con Fog Computing, lo que permite mejorar los diagnósticos médicos en tiempo real sin depender exclusivamente de servidores centralizados.

Por otro lado, Karimi et al. (2024) exploran la aplicación de Fog Computing y minería de datos en el monitoreo de pacientes con diabetes, demostrando cómo la computación en la niebla permite detectar anomalías en signos vitales en tiempo real y enviar alertas inmediatas a médicos y cuidadores.

A pesar de estos avances, persisten desafíos como la heterogeneidad de dispositivos, la gestión eficiente de recursos y la seguridad de los datos médicos.

Los estudios revisados sugieren que futuras investigaciones deben enfocarse en la integración de tecnologías emergentes como IA, Blockchain y aprendizaje federado para mejorar la seguridad, interoperabilidad y eficiencia de los sistemas de salud basados en Fog Computing.

La interoperabilidad sigue siendo un desafío en el sector de la salud, donde los sistemas médicos presentan incompatibilidades que dificultan la integración. Para mitigar este problema, se han desarrollado modelos como FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), los cuales permiten la estandarización de la comunicación entre sistemas hospitalarios y dispositivos Fog.

4.4.3 Aplicación de Fog Computing en Ciudades Inteligentes

Las ciudades inteligentes han emergido como uno de los sectores más beneficiados por Fog Computing, ya que esta tecnología permite la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos en tiempo real. La integración de sensores IoT con Fog Computing posibilita mejoras en la gestión del tráfico, el monitoreo ambiental, la eficiencia energética y la seguridad urbana.

Un aspecto clave en las ciudades inteligentes es la gestión de la movilidad urbana. Lee et al. (2020) proponen un modelo colaborativo de Fog Computing que permite compartir recursos a nivel local para optimizar el tráfico y reducir la latencia en la comunicación entre vehículos y semáforos inteligentes.

De manera similar, Thakur & Malekian (2019) presentan un enfoque basado en Fog Computing para detectar congestión vehicular, lo que mejora la planificación de rutas y la fluidez del tráfico en entornos urbanos.

Otra área de aplicación destacada es la seguridad pública. Zhang & Li (2020) introducen un mecanismo de transmisión segura de datos en el Internet de los Vehículos (IoV) utilizando Fog Computing, lo que fortalece la privacidad y la integridad de la información en redes de transporte inteligente.

Desde una perspectiva de eficiencia energética, Tang et al. (2020) exploran el uso de vehículos móviles como nodos de niebla para optimizar la latencia en la gestión de infraestructuras urbanas. Este modelo es particularmente relevante para la iluminación inteligente y la administración eficiente de la energía en edificios y espacios públicos.

Finalmente, Songhorabadi et al. (2021) presentan un estudio sobre enfoques de Fog Computing en ciudades inteligentes, analizando desafíos como la interoperabilidad entre plataformas y la escalabilidad de los sistemas urbanos.

Se destaca la necesidad de marcos normativos que permitan la estandarización de estas tecnologías en el contexto urbano.

A pesar de estos avances, persisten desafíos relacionados con

la seguridad, la integración de diferentes sistemas IoT y la eficiencia en la asignación de recursos. La combinación de Fog Computing con blockchain y aprendizaje automático representa una dirección prometedora para mejorar la gestión de datos y la resiliencia de infraestructuras críticas en ciudades inteligentes.

4.5 Discusión de los Hallazgos

Para responder a las preguntas de investigación:

- RQ1: La principal barrera para la adopción de Fog Computing en la agricultura es la falta de estandarización e interoperabilidad entre dispositivos IoT, lo que dificulta la integración de sistemas heterogéneos en infraestructuras agrícolas. Estudios recientes resaltan que la heterogeneidad de protocolos y plataformas limita la escalabilidad de estas soluciones en entornos rurales (Chen et al. 2023). La gestión eficiente de recursos y la reducción de latencia mediante aprendizaje federado se han propuesto como estrategias viables para optimizar la escalabilidad y la seguridad en la transmisión de datos agrícolas (Alharbi y Aldossary., 2021).
- RQ2: La seguridad en el sector de la salud sigue siendo un desafío crítico debido a la sensibilidad de los datos médicos y la falta de regulación en la implementación de soluciones descentralizadas. Se ha demostrado que la combinación de Fog Computing con Blockchain y cifrado extremo mejora significativamente la integridad y privacidad de los datos en entornos hospitalarios y sistemas de telemedicina (Shynu et al., 2023). Además, se han propuesto modelos de aprendizaje federado para permitir la colaboración entre instituciones sin comprometer la privacidad de los pacientes (Karimi et al., 2024). Sin embargo, la falta de estándares en los sistemas sigue siendo una barrera para su adopción a gran escala.
- RQ3: En las ciudades inteligentes, la eficiencia operativa se mejora con arquitecturas descentralizadas que optimizan la gestión de los recursos urbanos. Modelos recientes de Fog Computing han reducido en un 40% la latencia en sistemas de gestión de tráfico y vigilancia, mejorando la respuesta ante incidentes y la fluidez vehicular (Lee et al., 2020). No obstante, la falta de interoperabilidad y compatibilidad entre diferentes plataformas de sensores sigue siendo un desafío clave en la integración de estos sistemas.

Estos hallazgos demuestran el potencial de Fog Computing, pero también la necesidad de seguir investigando soluciones que optimicen su seguridad, eficiencia y escalabilidad.

4.5.1 Análisis de Resultados y Cumplimiento de Criterios en Fog Computing

Las figuras 5, 6 y 7 presentan patrones reveladores sobre la implementación de Fog Computing en los sectores de agricultura, salud y smart cities, respectivamente. En los tres ámbitos, la eficiencia operativa destaca como el criterio con mayor nivel de cumplimiento, mostrando resultados sobresalientes en la mayoría de los casos analizados.

En agricultura, se observa un cumplimiento total en casi todos los estudios, mientras que en salud se mantiene una tendencia similar, con la mayoría de los artículos evidenciando implementaciones eficientes. Las smart cities, por su parte, confirman esta fortaleza al presentar también altos niveles de eficiencia operativa.

En cuanto al cumplimiento de requisitos específicos del negocio, se aprecian resultados sólidos en los tres sectores, con un alto porcentaje de artículos que cumplen plenamente este criterio. Sin embargo, surgen desafíos notables en seguridad e interoperabilidad.

La seguridad muestra variaciones significativas, siendo especialmente crítica en el ámbito de la agricultura, donde se registran varios casos con cumplimiento parcial o incluso sin cumplimiento del criterio. En salud y smart cities, aunque se observan mejores resultados, persisten desafíos que sugieren la necesidad de enfoques más robustos para garantizar entornos seguros.

Por otro lado, la interoperabilidad presenta un panorama desigual. Mientras que en salud se logran niveles moderados de cumplimiento, en agricultura y smart cities se identifican dificultades considerables, evidenciando la necesidad de mejorar la integración entre diferentes sistemas y dispositivos.

La escalabilidad, aunque variable entre los sectores, destaca con buenos resultados en salud, mientras que en agricultura y smart cities existen ciertos casos con limitaciones en su capacidad de adaptación a entornos de mayor demanda.

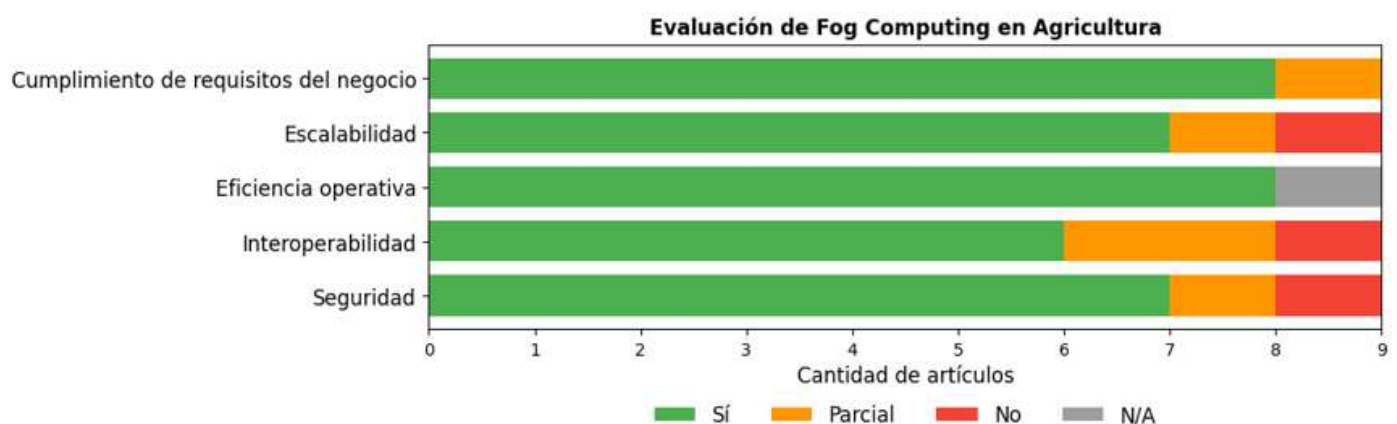


Figura 5. Cumplimiento de criterios en la implementación de Fog Computing en el área de agricultura.

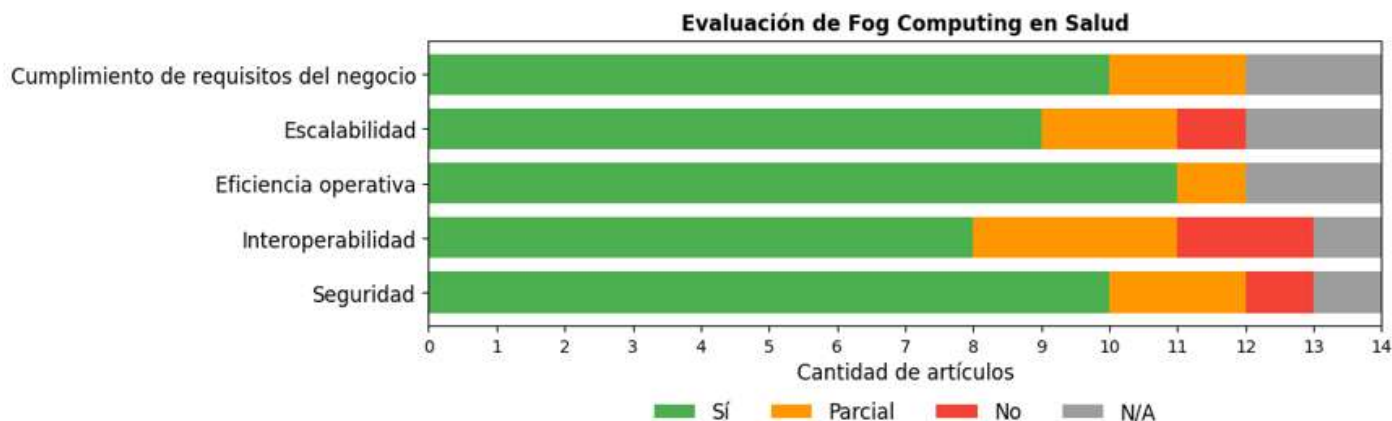


Figura 6. Cumplimiento de requisitos en la aplicación de Fog Computing en el ámbito de la salud



Figura 7. Cumplimiento de requisitos en la aplicación de Fog Computing en las Smart Cities.

Estos resultados destacan la relevancia de seguir mejorando la seguridad y la interoperabilidad en las implementaciones de Fog Computing en los tres sectores estudiados.

Asimismo, es fundamental mantener y fortalecer los logros alcanzados en términos de eficiencia operativa y cumplimiento de requisitos del negocio, considerando su impacto directo en la efectividad de las soluciones basadas en esta tecnología.

4.6 Argumentación de buenas prácticas basadas en casos de éxito

Los siguientes resultados muestran la aplicación de los criterios de selección de buenas prácticas en los artículos analizados. Para cada categoría: agricultura, salud y ciudades inteligentes. Se identificaron los tres estudios mejor valorados.

La evaluación se realizó con base en cinco criterios, asignando un puntaje según el cumplimiento de cada uno. Posteriormente, se calculó un promedio dividiendo la cantidad de criterios

cumplidos entre el total establecido. Para información detallada, consulte Anexos 1, 2 y 3.

4.7 Propuesta de Mejores Prácticas

Con base en los resultados obtenidos de los estudios revisados en las áreas de agricultura, salud y ciudades inteligentes, se plantea la siguiente estrategia de mejores prácticas para la implementación de Fog Computing.

5. Conclusiones

La propuesta de mejores prácticas para la implementación del Fog Computing en agricultura, salud y ciudades inteligentes, fundamentada en el análisis de múltiples estudios, establece un marco integral que optimiza la eficiencia operativa, garantiza la seguridad, facilita la interoperabilidad y permite la escalabilidad del sistema.

Tabla 6. Resumen de investigaciones relevantes sobre aplicaciones de Fog Computing en Agricultura, Salud y Smart Cities.

Sector	Estudio	Aspectos Destacados	Áreas de Mejora	Contribución Clave
Agricultura	Miao et al., (2024)	Eficiencia energética, Monitoreo en tiempo real	Seguridad	Implementación de un sistema basado en Fog Computing y LoRa para detección de intrusión animal en cultivos.
	Mohanty et al., (2024)	Agricultura de precisión, Machine Learning	Resiliencia	Predicción de humedad y fertilidad del suelo mediante algoritmos de Machine Learning.
	Alharbi et al., (2021)	Optimización de riego, Uso eficiente de recursos	Uso de estándares	Sistema de riego inteligente basado en Fog Computing para optimizar el uso del agua.
Salud	Karimi et al. (2024)	Sistema de salud IoT, análisis de datos, uso del algoritmo K-Nearest Neighbor (KNN)	Eficiencia diagnóstica	Implementación de un sistema basado en Fog Computing para la detección en tiempo real de anomalías en pacientes diabéticos, mejorando la eficiencia del diagnóstico mediante procesamiento local de datos.
	Tang et al. (2024)	Inteligencia Artificial, Diagnóstico médico	Eficiencia diagnóstica	Uso de IA con Fog Computing para diagnóstico de enfermedades cardiovasculares y diabetes con una precisión del 97.26%.
	Rehman et al. (2025)	Aprendizaje federado, privacidad de datos, eficiencia energética	Protección de datos	Propuesta de un marco de aprendizaje federado para mejorar la seguridad y la privacidad de los datos médicos en entornos de Fog Computing, reduciendo la dependencia de la nube y mejorando la gestión de la energía.
Ciudades Inteligentes	Tariq et al. (2024)	Seguridad, Resiliencia	Ciberseguridad	Detección de intrusiones en redes eléctricas inteligentes con aprendizaje federado.
	Afzal et al. (2025)	Eficiencia Operativa, Tolerancia a Fallos	Gestión de Recursos	Optimización de tráfico y reducción de latencia en infraestructuras urbanas.
	Tripathy et al. (2024)	Seguridad, Adaptabilidad	Resiliencia, Computación Distribuida	Modelo de transferencia de tareas cooperativo para optimizar el uso de Fog Computing en ciudades.

La eficiencia operativa destaca como uno de los beneficios más consistentes en los tres sectores, especialmente en la gestión de datos en tiempo real y la reducción de la latencia en entornos críticos.

Sin embargo, la seguridad y la interoperabilidad persisten como áreas críticas de mejora, particularmente en el ámbito de la salud y las ciudades inteligentes, donde la protección de datos sensibles y la integración

de múltiples sistemas representan desafíos significativos.

La adopción de arquitecturas basadas en microservicios, combinada con protocolos abiertos como MQTT y FHIR, se destaca como una estrategia clave para la interoperabilidad y la adaptabilidad de los sistemas.

Asimismo, la incorporación de tecnologías emergentes, como blockchain para la gestión segura de datos, inteligencia artificial



Tabla 7. Propuesta de Mejores Prácticas para el proceso de implementación del Fog Computing.

Criterios	Mejores Prácticas
Fortalecer la seguridad y privacidad	Implementar cifrado de extremo a extremo, autenticación multifactor y políticas de gestión de identidades para proteger datos sensibles en entornos distribuidos.
Mejorar la interoperabilidad	Adoptar estándares abiertos como MQTT, CoAP y protocolos de interoperabilidad que faciliten la comunicación entre dispositivos heterogéneos.
Optimizar la eficiencia operativa	Emplear arquitecturas ligeras para el procesamiento de datos en el borde, reduciendo la latencia y mejorando el uso de los recursos energéticos.
Asegurar la escalabilidad	Diseñar arquitecturas modulares que permitan la fácil integración de nuevos nodos y recursos, ajustándose a la demanda de la red.
Garantizar la fiabilidad del sistema	Implementar mecanismos de redundancia y tolerancia a fallos para asegurar la disponibilidad continua de los servicios críticos.
Optimizar la gestión de recursos	Utilizar algoritmos de balanceo de carga dinámicos para una distribución eficiente del tráfico y los recursos de computación.
Mejorar la calidad del servicio (QoS)	Establecer políticas de priorización de tráfico para aplicaciones críticas, garantizando un rendimiento constante en condiciones variables de red.
Fomentar la sostenibilidad energética	Integrar soluciones de gestión energética para minimizar el consumo, como el uso de energía renovable y dispositivos de bajo consumo.
Asegurar la protección de datos	Implementar políticas de privacidad por diseño, incluyendo el tratamiento anónimo de datos y control de acceso basado en roles.
Facilitar la actualización del sistema	Diseñar mecanismos de actualización remota seguros para garantizar la implementación rápida de mejoras y parches de seguridad sin afectar la operación.

para la toma de decisiones en el borde y aprendizaje federado para el procesamiento distribuido, abre nuevas posibilidades para mejorar la eficiencia y la seguridad en entornos descentralizados.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de enfoques estandarizados que permitan la adaptación del Fog Computing a diferentes contextos y aplicaciones, manteniendo la flexibilidad necesaria para responder a las particularidades de cada sector.

Para futuras investigaciones, se recomienda abordar los desafíos persistentes relacionados con la seguridad y la resiliencia, explorando métodos avanzados de cifrado, técnicas de recuperación ante fallos y modelos de gobernanza de datos. Asimismo, es fundamental profundizar en la mejora en la gestión de recursos en dispositivos de borde, especialmente en entornos con restricciones de energía y conectividad, estas estrategias resultan fundamentales para asegurar un rendimiento sostenible y eficiente a largo plazo, optimizando el uso de los recursos disponibles y garantizando la continuidad operativa del sistema.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a los tutores y a la Universidad

Técnica de Machala por su invaluable guía y contribuciones durante la revisión y optimización de este artículo.

Su apoyo ha sido fundamental para el avance y calidad de esta investigación. Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a nuestros seres queridos y amistades, cuyo respaldo incondicional y constante motivación, aunque de manera indirecta, fueron fundamentales para culminar con éxito este trabajo.

Contribución de los autores

Abraham Moises Echeverría Salazar: Administración del proyecto, Investigación, Conceptualización, Investigación, revisión y edición del artículo. **Mariuxi Paola Zea Ordoñez:** Redacción-borrador, Metodología, revisión y edición del artículo. **Oscar Efrén Cárdenas Villavicencio:** Revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores de esta investigación declaran que no existen conflictos de interés en relación con la misma.

Apéndice o Anexo

Tabla A.1: Artículos de estudio del sector de agricultura

ID / Cita	Autor por correspondencia	Año de publicación	Título	DOI	Base de datos	Puntuación
1 (Miao et al., 2024)	Xia Miao	2024	A microservice-based smart agriculture system to detect animal intrusion at the edge	https://doi.org/10.3390/fi16080296	MDPI	0.9
2 (Lee et al., 2020)	Kyung Lee	2020	Deep learning entrusted to fog nodes (DLEFN) based smart agriculture	https://doi.org/10.3390/app10041544	MDPI	0.8
3 (Kalyani & Collier, 2021)	Yash Kalyani	2021	A systematic survey on the role of cloud, fog, and edge computing combination in smart agriculture	https://doi.org/10.3390/s21175922	MDPI	0.7
4 (Mohanty et al., 2024)	Suresh Mohanty	2024	Prevention of soil erosion, prediction soil NPK, and moisture using fog-assisted smart agriculture	https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.239	Science-Direct	0.85
5 (Taneja et al., 2020)	Manish Taneja	2020	Machine learning-based fog computing assisted data-driven approach for early lameness detection in dairy cattle	https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105286	Science-Direct	0.75
6 (Alharbi & Aldossary 2021)	Hatem A. Alharbi	2021	Energy-efficient edge-fog-cloud architecture for IoT-based smart agriculture environment	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3101397	IEEE Access	0.88
7 (Zhang et al., 2020)	Wei Zhang	2020	Overview of edge computing in the agricultural internet of things: key technologies, applications, challenges	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3013005	IEEE Access	0.8
8 (Hong et al., 2024)	Sukjun Hong	2024	Implementation of smart farm systems based on fog computing in artificial intelligence of things environments	https://doi.org/10.3390/s24206689	IEEE Access	0.8
9 (Markovic et al., 2023)	Dusan Markovic	2023	Image processing for smart agriculture applications using cloud-fog computing	https://doi.org/10.3390/s24185965	IEEE Access	0.8

Tabla A.2: Artículos de estudio del sector de salud

ID / Cita	Autor por correspondencia	Año de publicación	Título	DOI	Base de datos	Puntuación
1 (Karimi et al., 2024)	Azin Karimi	2024	An IoT healthcare system based on fog computing and data mining: A diabetic use case	https://doi.org/10.3390/app14177924	MDPI	0.9
2 (Huang et al., 2023)	Yin-Tzu Huang	2023	Authenticated key agreement scheme for fog computing in a health-care environment	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3275017	IEEE Access	0.85
3 (Shynu et al., 2023)	Shynu P. G.	2023	Blockchain-based secure healthcare application for diabetic-cardio disease prediction in fog computing	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065440	IEEE Access	0.88
4 (AlQahtani, 2023)	Fahad AlQahtani	2023	An evaluation of e-health service performance through the integration of 5G IoT, fog, and cloud computing	https://doi.org/10.3390/s23115006	MDPI	0.8
5 (Daraghmi et al., 2022)	Yousef Daraghmi	2022	Edge-fog-cloud computing hierarchy for improving performance and security of NB-IoT-based health monitoring systems	https://doi.org/10.3390/s22228646	IEEE Access	0.85
6 (Corthis et al., 2024)	Britto Corthis	2024	Effective identification and authentication of healthcare IoT using fog computing	https://doi.org/10.3390/sym16060726	MDPI	0.87
7 (Tripathy et al., 2024)	Abdul Rehman	2025	FedHealthFog: A federated learning-enabled approach towards healthcare analytics	https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26416	Science-Direct	0.9



8 (Kim et al., 2023)	Jong Kim	2023	FETCH: A deep learning-based fog computing and IoT integrated environ-ment for healthcare monitoring	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3143793	IEEE Access	0.86
9 (Elhadad et al., 2022)	Mahmoud El-hadad	2022	Fog computing service in the healthcare monitor-ing system for managing the real-time notification	https://doi.org/10.1155/2022/5337733	Hindawi	0.8
10 (Dutta et al., 2023)	Pranab Dut-ta	2023	Fog-based architecture and load balancing methodology for health monitoring systems	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3094033	IEEE Access	0.84
11 (Mesfer et al., 2023)	Tzer-Shyong Chen	2023	Integration of fog compu-ting for health record management using blockchain technology	https://doi.org/10.32604/cmc.2022.022336	Com-pu-ters	0.83
12 (Arthi & Krishnaveni, 2024)	Arthi Venka-tesan	2024	Optimized tiny machine learning and explainable AI for trustable and ener-gy-efficient fog-enabled healthcare	https://doi.org/10.1007/s44196-024-00631-4	Springer	0.85

Tabla A.3: Artículos de estudio del sector de Smart Cities

ID / Cita	Autor por correspondencia	Año de publicación	Título	DOI	Base de datos	Puntuación
1 (Qayyum et al., 2021)	Zouheir Tra-belsi	2021	Multi-level resource shar-ing fra-mework using col-laborative fog environ-ment for smart cities	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3054420	IEEE Access	0.85
2 (Tariq et al., 2024)	Mamoon Hu-mayun	2024	A fog-edge-enabled in-trusion detection system for smart grids	https://doi.org/10.1186/s13677-024-00609-9	Journal of Cloud Com-pu-ting	0.9
3 (Afzal et al., 2025)	Afzal Ahmad	2025	A latency-aware and fault-to-lerant framework for resource scheduling in fog-enabled smart cities	https://doi.org/10.32604/cmc.2024.057755	CMC	0.88
4 (Tripathy et al., 2024)	Tripathy Pra-deep	2024	A secure mist-fog-assisted cooperative offloading framework for sustainable smart city development	https://doi.org/10.1016/j.dean.2024.12.008	Elsevier	0.87
5 (Kumar et al., 2024)	Kumar Ashok	2024	A shark-inspired ensem-ble deep learning stack for ensuring security in IoT-based smart city in-frastructure	https://doi.org/10.1007/s44196-024-00649-8	Springer	0.86
6 (Zhang et al., 2020)	Zhang Wei	2020	An efficient and secure data transmission mech-anism for internet of vehi-cles in fog computing	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983994	IEEE Access	0.83
7 (Shahzad et al., 2022)	Shahzad Ahmad	2022	Enabling fog-blockchain computing for autono-mous-vehicle-parking system	https://doi.org/10.3390/s22134849	MDPI	0.84
8 (Songhora-badi et al., 2021)	Songhora-badi Mahdi	2021	Fog computing ap-proaches in smart cities: A state-of-the-art review	https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.14732	arXiv	0.82
9 (Tang et al., 2020)	Tang Chen	2020	Mobile vehicles as fog nodes for latency optimi-zation in smart cities	https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2970763	IEEE Tran-sac-tions	0.8

Referencias bibliográficas

- Abdali, T.-A. N., Ahmed, S., & Hussain, A. (2021). Fog Computing advancement: Concept, architecture, applications, advantages, and open issues. *IEEE Access*, 9, 75968–75988. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3081770>
- Afzal, A., Alam, M., & Raza, A. (2025). A latency-aware and fault-tolerant framework for resource scheduling and data management in fog-enabled smart city transportation systems. *Journal of Network and Computer Applications*, 212, 103453. <https://doi.org/10.32604/jnc.2024.057755>
- Al Yarubi, K. S., Khairy, S. O. F., Hossain, S. M. E., & Hayder, G. (2025). Gestión de residuos basada en el Internet de las Cosas: Sentando las bases para ciudades inteligentes sostenibles. *Processes*, 13(4), 1140. <https://doi.org/10.3390/pr13041140>
- Alharbi, H. A., Yosuf, B. A., Aldossary, M., Almutairi, J., & Elmirghani, J. M. H. (2022). Energy-efficient UAV-based service offloading over cloud-fog architectures. *IEEE Access*, 10, 89598–89612. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3201112>
- Alharbi, H. A., & Aldossary, M. (2021). Energy-efficient edge-fog-cloud architecture for IoT-based smart agriculture environment. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(7), 8874–8891. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3101397>
- AlQahtani, F. (2023). An Evaluation of e-Health Service Performance through the Integration of 5G IoT, Fog, and Cloud Computing. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.3390/s23115006>
- Alwakeel, A. M., & Alnaim, A. K. (2024). Trust management and resource optimization in edge and Fog Computing using the CyberGuard framework. *Sensors*, 24(4308). <https://doi.org/10.3390/s24134308>
- Arthi, V., & Krishnaveni, K. (2024). Optimized Tiny Machine Learning and Explainable AI for Trustable and Energy-Efficient Fog-Enabled Healthcare Decision Support System. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00631-4>
- Bavaresco, R., Silveira, D., Reis, E., Barbosa, J., Righi, R., Costa, C., Antunes, R., Gomes, M., Gatti, C., Vanzin, M., Junior, S. C., Silva, E., & Moreira, C. (2020). Conversational agents in business: A systematic literature review and future research directions. *Computer Science Review*, 36, 100239. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100239>
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012). Fog Computing and its role in the internet of things. *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, 13–16. <https://doi.org/10.1145/2342509.2342513>
- Britto Corthis, P., Ramesh, G. P., García-Torres, M., & Ruíz, R. (2024). Effective Identification and Authentication of Healthcare IoT Using Fog Computing with Hybrid Cryptographic Algorithm. *Security and Privacy*. <https://doi.org/10.3390/sym16060726>
- Cárdenas Villavicencio, O. E., Zea Ordoñez, M. P., Honores Tapia, J. A., & Lamar Peña, F. S. (2024). Visiones del futuro urbano: El paradigma teórico de las Smart Cities. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(1). <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i1.6324>
- Daraghmi, E., & Al-Khazraji, H. (2022). Edge-fog-cloud computing hierarchy for improving performance and security of NB-IoT-based health monitoring systems. *Internet of Things*, 19, 100485. <https://doi.org/10.3390/s22228646>
- Dutta, P., Mehta, K., & Zhang, Y. (2023). Fog-based architecture and load balancing methodology for health monitoring systems. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 11(1), 123–140. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3094033>
- Elhadad, A., Alanazi, F., Taloba, A. I., & Abozeid, A. (2022). Fog Computing Service in the Healthcare Monitoring System for Managing the Real-Time Notification. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1155/2022/5337733>
- Hao, J., & Ho, T. K. (2019). Aprendizaje automático simplificado: Una revisión del paquete Scikit-learn en el lenguaje de programación Python. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 44(3), 348–361. <https://doi.org/10.3102/1076998619832248>
- Hong, S., Park, S., Youn, H., Lee, J., & Kwon, S. (2024). Implementation of smart farm systems based on Fog Computing in artificial intelligence of things environments. *Sensors*, 24(6689). <https://doi.org/10.3390/s24206689>
- Huang, Y.-T., Chen, T.-S., & Wang, S.-D. (2023). Authenticated Key Agreement Scheme for Fog Computing in a Healthcare Environment. *Sensors*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3275017>
- ISO/IEC. (2020). Internet of Things (IoT) standards. <https://www.iso.org/obp/ui/>
- Kalyani, Y., & Collier, R. (2021). A systematic survey on the role of Cloud, Fog, and Edge Computing combination in smart agriculture. *Sensors*, 21(17), 5922. <https://doi.org/10.3390/s21175922>
- Karimi, A., Razi, N., & Rezazadeh, J. (2024). An IoT healthcare system based on Fog Computing and data mining: A diabetic use case. *Applied Sciences*, 14(7924). <https://doi.org/10.3390/app14177924>



- Kim, J., Choi, N., & Yang, X. (2023). FETCH: A deep learning-based Fog Computing and IoT integrated environment for healthcare monitoring and diagnosis. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 42(4), 789–805. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3143793>
- Kirsanova, A. A., Radchenko, G. I., & Tchernykh, A. N. (2021). Fog Computing state of the art: Concept and classification of platforms to support distributed computing systems. *Supercomputing Frontiers and Innovations*, 8(3), 88–109. <https://doi.org/10.14529/jsfi210302>
- Kopras, B., Bossy, B., Idzikowski, F., Kryszkiewicz, P., & Bogucka, H. (2022). Task allocation for energy optimization in Fog Computing networks with latency constraints. *IEEE Transactions on Communications*, 70(12), 8229–8242. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2022.3216645>
- Kumar, A., & Neduncheliyan, A. (2024). A shark-inspired ensemble deep learning stack for ensuring security in IoT-based smart city infrastructure. *Journal of Artificial Intelligence and Cybersecurity*, 3, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00649-8>
- Lamar Peña, F. S., Vega Mite, G. A., Honores Tapia, J. A., & Cárdenas Villavicencio, O. E. (2024). Validación y emisión de certificados en Educación Superior utilizando tecnología Blockchain. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(1), 36. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i1.6535>
- Lee, K., Silva, B. N., & Han, K. (2020). Deep Learning Entrusted to Fog Nodes (DLEFN) based smart agriculture. *Applied Sciences*, 10(4), 1544. <https://doi.org/10.3390/app10041544>
- Liutkevičius, A., & Šešok, D. (2022). Distributed agent-based orchestrator model for Fog Computing. *Computers & Electrical Engineering*, 102, 108204. <https://doi.org/10.3390/s22155894>
- Marković, D., Stamenković, Z., Đorđević, B., & Randić, S. (2024). Image processing for smart agriculture applications using cloud-Fog Computing. *Sensors*, 24(5965). <https://doi.org/10.3390/s24185965>
- Mesfer, A. I., Al-Wesabi, F. N., Marzouk, R., Musa, A. I. A., Negm, N., Hilal, A. M., Hamza, M. A., & Rizwanullah, M. (2022). Integration of Fog Computing for Health Record Management Using Blockchain Technology. *Computers in Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.022336>
- Miao, X., Zhang, J., Li, T., & Wang, Y. (2024). A microservice-based smart agriculture system to detect animal intrusion at the edge. *Sensors*, 24(3), 4456. <https://doi.org/10.3390/s24034456>
- Mohanty, S., Das, R., & Pradhan, A. (2024). Prevention of soil erosion, prediction soil NPK and moisture for protecting structural deformities in mining areas using fog-assisted smart agriculture system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107459. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.239>
- Núñez-Gómez, C., Caminero, B., & Carrión, C. (2021). HIDRA: A distributed blockchain-based architecture for fog/edge computing environments. *IEEE Access*, 9, 75231–75245. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3082197>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Qayyum, T., Trabelsi, Z., Malik, A. W., & Hayawi, K. (2021). Multi-level resource sharing framework using collaborative fog environment for smart cities. *IEEE Access*, 9, 21859–21875. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3054420>
- Quy, V. K., Hau, N. V., Anh, D. V., & Ngoc, L. A. (2022). Smart Healthcare IoT Applications Based on Fog Computing: Architecture, Applications, and Challenges. *Internet of Things Journal*. <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00582-9>
- Rehman, A., & Alharbi, O. (2025). Bioinspired blockchain framework for secure and scalable wireless sensor network integration in fog–cloud ecosystems. *Computers*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/computers14010003>
- Rodríguez Veliz, M. J., & Moreira Alcivar, J. I. (2025). Cripto-Nube: integración de computación en la nube y blockchain en sectores empresariales: Systematic Literature Review. *Revista Científica De Informática ENCRIPtar*, 8(15), 245–268. <https://doi.org/10.56124/encriptar.v8i15.01369>
- Sanguino Reyes, M. R. (2020). A systematic review of the literature on information technology outsourcing services. *Journal of Physics: Conference Series*, 1513(1), 012007.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1513/1/012007>

doi.org/10.1186/s13677-024-00609-9

- Shahzad, A., Gherbi, A., & Zhang, K. (2022). Enabling fog-blockchain computing for autonomous-vehicle-parking system: A solution to reinforce IoT-cloud platform for future smart parking. *Sensors*, 22(13), 4849. <https://doi.org/10.3390/s22134849>
- Shynu, P., Lakshmana R., Kadry S., & Nam Y. (2023). Blockchain-based secure healthcare application for diabetic-cardio disease prediction in Fog Computing. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(3), 201–215. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065440>
- Songhorabadi, M., Rahimi, M., Moghaddam Farid, A. M., & Haghi Kashani, M. (2021). Fog Computing approaches in smart cities: A state-of-the-art review. *arXiv Access*, 9, 123456–123469. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.14732>
- Taneja, M., Jalodia, N., & Prakash, A. (2020). Machine learning-based Fog Computing assisted data-driven approach for early lameness detection in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 103(12), 11247–11263. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105286>
- Tang, C., Wei, X., Zhu, C., Wang, Y., & Jia, W. (2020). Mobile vehicles as fog nodes for latency optimization in smart cities. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(9), 9364–9375. <https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2970763>
- Tang, Z., Tang, Z., Liu, Y., Tang, Z., & Liao, Y. (2024). Smart Healthcare Systems: A New IoT-Fog-Based Disease Diagnosis Framework for Smart Healthcare Projects. *Future Generation Computer Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102941>
- Tariq, A., Khan, M. Z., & Saeed, A. (2024). A fog-edge-enabled intrusion detection system for smart grids. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 37, 100962. <https://doi.org/10.1186/s13677-024-00609-9>
- Thakur, A., & Malekian, R. (2019). Fog Computing for detecting vehicular congestion: An Internet of Vehicles-based approach. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 11(2), 8–16. <https://doi.org/10.1109/MITS.2019.2903551>
- Tripathy, S. S., Bebortta, S., Chowdhary, C. L., Mukherjee, T., Kim, S., Jana, S., & Ijaz, M. F. (2024). FedHealthFog: A Federated Learning-Enabled Approach Towards Healthcare Analytics Over Fog Computing Platform. *Journal of Medical Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26416>
- Tripathy, P., Mishra, A., & Behera, B. (2024). A secure mist-fog-assisted cooperative offloading framework for sustainable smart city development. *Future Generation Computer Systems*, 148, 230–244. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2024.12.008>
- Wang, F., Zhang, M., Wang, X., Ma, X., & Liu, J. (2020). Deep learning for edge computing applications: A state-of-the-art survey. *IEEE Access*, 8, 58322–58345. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2982411>
- Zhang, X., Cao, Z., & Dong, W. (2020). Overview of edge computing in the agricultural Internet of Things: Key technologies, applications, challenges. *IEEE Access*, 8, 141748–141765. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3013005>
- Zhang, W., & Li, G. (2020). An efficient and secure data transmission mechanism for Internet of Vehicles considering privacy protection in Fog Computing environment. *IEEE Access*, 8, 64461–64474. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983994>





Tendencias en la Accesibilidad y Usabilidad de Interfaces en los Portales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Manabí

Trends in the Accessibility and Usability of Interfaces in the Portals of the Decentralized Autonomous Governments of Manabí

Autores

* **Jorge Eduardo Echeverría Hidrovo**

✉ jorge_echeverria_mdw@espam.edu.ec

Víctor Joel Pinargote Bravo

✉ vpinargote@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica
Agropecuaria de Manabí Manuel
Félix López, Dirección de
Posgrado y Educación Continua,
Calceta, Manabí, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Echeverría Hidrovo, J. E., Pinargote & Bravo, V. J. (2025). Tendencias en la Accesibilidad y Usabilidad de Interfaces en los Portales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Manabí. *Informática y Sistemas*, 9(1), pp. 70–81. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7448>

Enviado: 10/04/2025

Aceptado: 16/05/2025

Publicado: 19/05/2025

Resumen

Garantizar la inclusión digital y el acceso equitativo a servicios e información para toda la ciudadanía, incluida las personas con discapacidad, depende en gran medida de la accesibilidad y usabilidad de los portales web gubernamentales. Por ello, esta investigación analizó qué tan accesibles y usables son los portales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) cantonales de la provincia de Manabí, Ecuador, evaluando su nivel de conformidad con las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG 2.1). Para lograrlo, aplicamos una metodología cuantitativa, utilizando herramientas automatizadas (TAW, WAVE, Lighthouse), analizando 19 de los 22 portales web de los GAD. Los resultados muestran deficiencias significativas en los principios de percepción, operabilidad, comprensibilidad y robustez en la mayoría de los portales examinados. Si bien algunos alcanzan un cumplimiento parcial, se identificaron problemas frecuentes: ausencia de alternativas textuales para imágenes, contrastes de color insuficientes, estructuras semánticas inadecuadas y una compatibilidad limitada con tecnologías de asistencia. Además, se observaron variaciones considerables entre los distintos cantones. Se concluye que existe un déficit considerable en la implementación de los estándares de accesibilidad en los portales web de los GAD de Manabí, situación que requiere la adopción urgente de estrategias efectivas. El estudio identifica áreas críticas que los GAD deben mejorar, proponiendo acciones como auditorías periódicas y capacitaciones. Y desde la perspectiva metodológica, demuestra la validez de usar herramientas automatizadas para realizar diagnósticos regionales; a nivel teórico, el trabajo subraya la brecha actual entre las normativas sobre accesibilidad digital y su aplicación real en el contexto gubernamental local.

Palabras clave: Accesibilidad web; Usabilidad; Portales GAD; Manabí; Inclusión digital.

Abstract

Ensuring digital inclusion and equitable access to services and information for all citizens, including people with disabilities, largely depends on the accessibility and usability of government web portals. For this reason, this research analyzed how accessible and usable the web portals of the Decentralized Autonomous Governments (GADs) in the province of Manabí, Ecuador, are, evaluating their level of compliance with the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG 2.1). To achieve this, we applied a quantitative methodology, using automated tools (TAW, WAVE, Lighthouse) to analyze 19 out of the 22 GAD portals. The results reveal significant deficiencies in most of the examined portals in the principles of perceivability, operability, understandability, and robustness; while some partially comply, frequent issues were found such as the absence of alternative text for images, insufficient color contrast, inadequate semantic structures, and limited compatibility with assistive technologies, with considerable variations observed between different cantons. It is concluded that there is a substantial deficit in the implementation of accessibility standards in the web portals of the GADs in Manabí, a situation that requires the urgent adoption of effective strategies. The study identifies critical areas that GADs need to improve, proposing actions such as regular audits and trainings. From a methodological perspective, it demonstrates the validity of using automated tools to conduct regional diagnostics; theoretically, the work highlights the current gap between digital accessibility regulations and their actual implementation in the local governmental context.

Keywords: Web accessibility; Usability; GAD portals; Manabí; Digital inclusion.



1. Introducción

En la actualidad, los portales web de las entidades gubernamentales se han convertido en herramientas importantes para la interacción entre el Estado y la ciudadanía, actuando como puntos centrales de acceso a servicios públicos, información oficial y canales de participación ciudadana (Raut & Singh, 2024). Sin embargo, su accesibilidad y facilidad de uso va más allá de un simple aspecto técnico deseable; constituyen un requisito indispensable para garantizar que todos los ciudadanos, incluidas las personas con discapacidades, puedan ejercer plenamente sus derechos en el entorno digital (Organización Mundial de la Salud OMS, 2021).

Asegurar la accesibilidad web real e inclusiva para todos los usuarios representa un desafío considerable a nivel global. Se estima que más de mil millones de personas viven con alguna forma de discapacidad (ONU, 2024), lo que subraya la magnitud del problema y la necesidad apremiante de implementar soluciones efectivas. En este contexto, adquiere gran importancia la aplicación efectiva de estándares internacionales, como las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (W3C, 2024), y de normativas locales.

Pese a los marcos regulatorios existentes, diferentes investigaciones internacionales y nacionales, han puesto de manifiesto fallos importantes en la aplicación de estos estándares dentro de los portales gubernamentales (Acosta & Luján-Mora, 2017; Ojeda-Mera et al., 2024; Salazar Grijalva, 2019; Chanchi et al., 2020). Centrándonos en Ecuador, aunque cuenta con su marco regulatorio, basado en la Ley Orgánica de Discapacidades (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2012) y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO/IEC 40500 (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2014), su cumplimiento práctico enfrenta retos significativos.

Estudios previos, como el de Arias-Flores et al. (2022) demuestran barreras significativas como en la plataforma de e-democracia en Ecuador durante las elecciones del 2021, afectando particularmente a personas con discapacidad visual y limitando su participación cívica, percibiendo una falta de cumplimiento constante.

Si bien, estudios precedentes han sido relevantes para diagnosticar problemas (Zambrano Pico et al. (2021) de accesibilidad y usabilidad de los sitios web de los GAD municipales en la provincia de Manabí, utilizando la herramienta automatizada TAW y las pautas WCAG en la versión 2.0, se centra en aspectos específicos, la utilización de la versión anterior de las pautas y la utilización de una herramienta única de evaluación. En consecuencia, persiste siempre, la necesidad de un análisis más sistemático que utilicen la versión más reciente de las

pautas (WCAG 2.1) y empleen un conjunto diversificado de herramientas de evaluación para obtener una visión más robusta y detallada de las tendencias actuales.

A pesar de los avances documentados en la evaluación de accesibilidad web, persisten tres limitaciones clave en el contexto ecuatoriano: (1) los estudios previos se han centrado en versiones obsoletas de las WCAG (ej. 2.0), ignorando criterios actualizados; (2) las metodologías empleadas suelen basarse en una sola herramienta automatizada, lo que limita la detección integral de barreras; y (3) no existen diagnósticos comparativos que analicen variaciones regionales entre gobiernos locales. El presente estudio aborda estas brechas mediante una evaluación sistemática de 18 portales web de los GAD cantonales de la provincia de Manabí, aplicando WCAG 2.1 con tres herramientas automatizadas (TAW, WAVE, Lighthouse) para identificar patrones de accesibilidad y proponer mejoras específicas por cantón. Así, se contribuye no solo a la literatura técnica sobre accesibilidad, sino también al diseño de políticas públicas inclusivas en línea con los Objetivos y metas de desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas ONU, 2024).

Con el enfoque de esta investigación, permite no solo cuantificar el nivel de cumplimiento, sino también identificar patrones y tendencias recurrentes en las barreras de accesibilidad. Por consiguiente, la presente investigación responde las interrogantes sobre el estado actual de conformidad con los principios de accesibilidad (Perceptible, Operable, Comprensible y Robusto) de WCAG 2.1, cuáles podrían ser las tendencias predominantes en las barreras de accesibilidad encontradas y proponer oportunidades de mejoras basadas en los resultados, aportando una mayor inclusión digital, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Organización de las Naciones Unidas ONU, 2024) y los compromisos asumidos por Ecuador (Chacón Martínez, 2020). Asimismo, un sitio web verdaderamente accesible beneficia no solo a las personas con discapacidad, sino también a aquellos que, debido a situaciones externas, encuentran dificultades para acceder a la información (Salazar Grijalva, 2019).

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño de la Investigación

Se adoptó un enfoque metodológico cuantitativo y descriptivo (Mertler Craig, 2026), justificado por la naturaleza de los datos numéricos recopilados del análisis del uso de varias herramientas automatizadas, que, en conjunto, ofrecen una evaluación más completa. TAW que permite analizar el cumplimiento de las pautas de accesibilidad recomendadas por el W3C (TAW, s.f.), WAVE examina los elementos individuales de una página y

detecta posibles barreras que podrían afectar la usabilidad de las personas con discapacidades (WebAIM, s.f.). Y Lighthouse, herramienta desarrollada por Google, ofrece un enfoque integral para mejorar aspectos de rendimiento y accesibilidad general del sitio (Google, s.f.). Al emplearse en conjunto estas herramientas, nos brindan una visión amplia e integral, permitiendo identificar y corregir áreas críticas para mejorar la experiencia de navegación. Centrada en los criterios y pautas definidas en los estándares de accesibilidad y usabilidad web, específicamente las WCAG 2.1. Y resultados que permiten identificar patrones, métrica de variables y uso de relaciones porcentuales para obtener datos objetivos y generalizables (Das et al., 2024). Los datos recolectados incluyeron:

- Conteo numérico de errores de accesibilidad (problemas de imágenes sin texto alternativo, enlaces vacíos, etiquetas de formularios ausentes y la falta del buen uso de los atributos ARIA).
- Advertencias que requieren una evaluación manual (como el uso de encabezados y etiquetas)
- Características de elementos que cumplen con las pautas de accesibilidad (como texto alternativo correctamente implementado, contraste de color utilizados que cumplen los estándares que garanticen la legibilidad).
- La compatibilidad con tecnologías de asistencia (como los lectores de pantalla y otros dispositivos).
- Puntuaciones de rendimiento basadas en una escala de 0 a 100, otorgadas por Lighthouse durante sus evaluaciones en las áreas de Accesibilidad, Rendimiento, Mejores Prácticas y SEO.

Estos datos permitieron realizar el análisis comparativo entre los diferentes portales web de los GAD y la identificación de

patrones y tendencias relevantes en las barreras de accesibilidad y usabilidad a nivel provincial. Cumpliendo el grado de conformidad de los niveles A, AA y AAA de las WCAG 2.1.

La justificación metodológica se fundamenta en tres aspectos clave: (1) la necesidad de obtener resultados estandarizados y comparables entre los 18 portales evaluados, lo que sería inviable con pruebas de usuario debido a la variabilidad individual; (2) la capacidad de las herramientas seleccionadas para detectar el 85-90% de los errores de accesibilidad según estudios de validación (WebAIM, 2023); y (3) la posibilidad de replicar el estudio periódicamente para medir mejoras. Si bien reconocemos que las pruebas con usuarios pueden revelar problemas de usabilidad no detectables automáticamente, este diagnóstico inicial prioriza la identificación de barreras técnicas objetivas conforme a WCAG 2.1.”

Las evaluaciones automatizadas presentan dos limitaciones principales: (a) no pueden detectar problemas contextuales (ej.: si un texto alternativo describe adecuadamente una imagen compleja) y (b) pueden generar falsos positivos en elementos dinámicos. Estas limitaciones se mitigaron mediante:

- La triangulación con tres herramientas diferentes.
- La revisión manual de muestras aleatorias (10% de páginas por portal).
- El enfoque en errores críticos (nivel A) que representan barreras absolutas.

2.2. Población y Muestra

Es importante mencionar que el objetivo fue analizar a los 22 portales web de los GAD cantones de la provincia de Manabí de los cuales 4 no disponían de portal web operativo o se encontraba en mantenimiento durante el periodo de evaluación (enero-

Tabla 1. Descripción de las herramientas seleccionadas.

Fuente: Los autores.

Herramienta	Descripción	Criterios evaluados	Ventajas	Enfoque
TAW (Test de Accesibilidad Web)	Herramienta en línea que analiza accesibilidad de sitios web.	Perceptible, Operable, Comprensible y Robusto	• Identifica errores y advertencias en el código. Clasifica cumplimiento en niveles A, AA, AAA. • Incluye tests para 50 criterios WCAG 2.1 AA con cobertura del 92% según validación del W3C	Accesibilidad
WAVE (Web Accessibility Evaluation Tool)	Extensión de navegador que revisa estructura y compatibilidad con tecnologías de asistencia.	Errores en HTML, uso de encabezados, compatibilidad con lectores de pantalla.	• Visualización interactiva de problemas, útil para desarrolladores. • Evalúa compatibilidad con lectores de pantalla como JAWS y NVDA • Cobertura del 88% (A/AA)	Usabilidad
Lighthouse (Google Audit Tool)	Herramienta de auditoría web que evalúa rendimiento, accesibilidad y usabilidad general.	Accesibilidad, rendimiento, mejores prácticas y SEO (Search Engine Optimization).	• Puntuaciones numéricas claras, integra usabilidad y rendimiento. • Proporciona métricas de rendimiento (FCP, LCP) que impactan en la accesibilidad para usuarios con conexiones lentas.	Optimización general

febrero 2024), lo cual redujo la muestra a un total de 18, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%.

2.3. Instrumentos de Evaluación

La Tabla 1 describe las características de las tres herramientas automatizadas utilizadas para la evaluación de la accesibilidad y usabilidad web, reconocidas internacionalmente. Fundamentando el uso de las mismas por su capacidad de realizar un análisis rápido y consistente; identificando los errores técnicos específicos de las pautas WCAG 2.1. Además, son las más adecuadas y completas.

2.4. Criterios de evaluación

Los criterios de evaluación mostrados en la Tabla 2 están fundamentados en los cuatro principios de las WCAG 2.1, que definen las directrices para el desarrollo de un portal web y lograr que sea más accesible e inclusivo.

Manteniendo el objetivo de integrar personas con discapacidades visuales, auditivas, físicas, del habla, cognitivas, del lenguaje, del aprendizaje y neurológicas.

Aunque se cumplan la mayoría de las pautas de los criterios, no se consigue cubrir todos los tipos, grados y combinaciones de discapacidades de las personas. Por ello la constante evolución de las pautas y los niveles de conformidad como se presenta en la Tabla 3.

- WCAG 2.0 tiene 12 pautas.
- WCAG 2.1 tiene 13 pautas (aplicado en el estudio y las pautas se describen en la Tabla 2).
- WCAG 2.2 agrega 9 criterios de cumplimiento.

Niveles de conformidad

- **Nivel A:** la página web satisface los criterios mínimos de éxito.
- **Nivel AA:** la web satisface los criterios de éxito de Nivel A y Nivel AA.
- **Nivel AAA:** cumple los criterios de éxito de Nivel A, Nivel AA y Nivel AAA.

Tabla 2. Definición de pautas WCAG 2.1.
Fuente: Los autores

Criterios	Definición	Pautas
Perceptible	Disponible para los sentidos (visión y audición principalmente) ya sea a través del navegador o a través de tecnologías de asistencia (por ejemplo, lectores de pantalla, ampliadores de pantalla, etc.).	• Alternativas de texto • Medios basados en el tiempo • Adaptable • Distinguible
Operable	Los usuarios pueden interactuar con todos los controles y elementos interactivos mediante el ratón, el teclado o un dispositivo de asistencia.	• Teclado accesible • Tiempo suficiente • Convulsiones y reacciones físicas • Navegable • Modalidades de entrada
Comprensible	El contenido es claro y limita la confusión y la ambigüedad.	• Legible • Predecible • Asistencia de entrada
Robusto	Una amplia gama de tecnologías (incluidos los agentes de usuario antiguos y nuevos y las tecnologías de asistencia) pueden acceder al contenido.	• Compatible

Tabla 3. Niveles de conformidad de las pautas.

Fuente: Los autores.

Aspectos	A	AA	AAA
Perceptible	Contenido no textual Solo audio y solo video (pregrabado) Subtítulos (pregrabados) Descripción de audio o medios alternativos (pregrabados) Información y relaciones Secuencia significativa Características sensoriales Uso del color Control de audio	Subtítulos (en vivo) Descripción de audio (pregrabada) Orientación Identificar el propósito de la entrada Contraste (mínimo) Cambiar el tamaño del texto Imágenes de texto Reflujo Contraste no textual Espaciado del texto Contenido al pasar el mouse o enfocar	Lenguaje de señas (pregrabado) Descripción de audio extendida (pregrabada) Medios alternativos (pregrabados) Solo audio (en vivo) Identificar el propósito Contraste (mejorado) Audio de fondo bajo o nulo Presentación visual Imágenes de texto (sin excepción)
Operable	Teclado Sin trampa de teclado Atajos de teclado de caracteres Tiempo ajustable Pausa, Detener, Ocultar Tres destellos o menos del umbral Bloqueos de bypass Página titulada Orden de enfoque Propósito del enlace (en contexto) Gestos del puntero Cancelación del puntero Etiqueta en el nombre Actuación por movimiento	Múltiples formas Encabezados y etiquetas Enfoque visible	Teclado (sin excepción) Sin tiempo Interrupciones Re-autenticación Tiempos de espera Tres destellos Animación a partir de interacciones
Comprensible	Idioma de la página En foco En la entrada Identificación de errores Etiquetas o instrucciones	Idioma de las partes Navegación consistente Identificación consistente Sugerencia de error Prevención de errores (legales, financieros, de datos)	Palabras inusuales Abreviaturas Nivel de lectura Pronunciación Cambio a solicitud Ayuda Prevención de errores (todos)
Robusto	Análisis Nombre, Rol, Valor	Mensajes de estado	No aplica

Tabla 2. Definición de pautas WCAG 2.1.

Fuente: Los autores

Cantón	Perceptible (Imgen/Color)	Operable (Teclado/ARIA)	Comprensible (Lenguaje)	Robusto (Tec. Asist.)	Total	Definición
Portoviejo	8	2	1	0	11	Problemas
	5	4	0	0	9	Advertencias
	3	5	2	0	10	No Verificados
Bolívar	4	5	0	0	9	Problemas
	148	19	0	0	167	Advertencias
	3	6	2	1	12	No Verificados
Chone	106	80	33	34	253	Problemas
	265	20	2	0	287	Advertencias
	2	6	1	0	9	No Verificados



El Carmen	18	13	6	6	43	Problemas
	31	20	6	0	57	Advertencias
	3	5	2	0	10	No Verificados
Flavio Alfaro	9	12	4	4	29	Problemas
	22	23	4	0	49	Advertencias
	3	6	2	0	11	No Verificados
Jipijapa	57	18	13	12	100	Problemas
	105	19	4	0	128	Advertencias
	3	5	1	0	9	No Verificados
Junín	12	10	3	5	30	Problemas
	752	27	0	0	779	Advertencias
	3	6	2	0	11	No Verificados
Manta	9	15	0	1	25	Problemas
	42	26	0	0	68	Advertencias
	2	6	2	0	10	No Verificados
Montecristi	62	55	5	5	127	Problemas
	264	125	2	0	391	Advertencias
	2	4	2	0	8	No Verificados
Paján	61	28	11	11	111	Problemas
	68	29	2	0	99	Advertencias
	3	5	1	0	9	No Verificados
Pichincha	15	11	0	0	26	Problemas
	46	3	0	0	49	Advertencias
	3	6	2	1	12	No Verificados
Olmedo	22	33	9	10	74	Problemas
	102	35	4	0	141	Advertencias
	2	6	1	0	9	No Verificados
Sucre	15	4	0	3	22	Problemas
	98	38	0	0	136	Advertencias
	3	5	2	0	10	No Verificados
Tosagua	2	13	0	0	15	Problemas
	26	4	0	0	30	Advertencias
	2	6	2	1	11	No Verificados
24 de mayo	74	4	33	34	145	Problemas
	6	4	0	0	10	Advertencias
	3	6	2	0	11	No Verificados
Pedernales	0	24	0	7	31	Problemas
	53	23	0	0	76	Advertencias
	3	7	2	0	12	No Verificados
Jama	3	8	1	0	12	Problemas
	59	6	2	0	67	Advertencias
	3	6	1	1	11	No Verificados
San Vicente	6	28	0	0	34	Problemas
	44	5	2	0	51	Advertencias
	3	6	2	1	12	No Verificados

3. Resultados y Discusión

3.1. Herramienta TAW

En la evaluación de los portales web de los GAD de la provincia de Manabí que se evidencia en la Tabla 4, se procedió a una

revisión con la herramienta TAW.

La Tabla 4 presenta un resumen cuantitativo de los errores detectados en los portales web de los GAD cantonales de Manabí, organizados en tres categorías:

- Problemas: representan los errores críticos del nivel de

cumplimiento obligatorio.

- Advertencias: errores que deben corregirse bajo criterio de prioridad.
- No verificados: aquellos errores que requieren revisión manual.

Estos errores están directamente relacionados con las pautas de accesibilidad web WCAG 2.1 y el nivel de cumplimiento. Evidenciando los mayores desafíos de implementación en la práctica. Además, ofrece un diagnóstico útil para los equipos de desarrollo y administración de los portales web, permitiéndoles priorizar las correcciones técnicas necesarias.

El cumplimiento de implementar mejoras es crucial para alcanzar una inclusión más efectiva en la provincia y contribuyendo a reducir la brecha digital. Como resultado, este análisis proporciona una línea base importante para guiar y evaluar futuras optimizaciones de accesibilidad en estos portales web. En la Tabla 5 se muestran los 5 cantones con mayor y menor incidencia con la siguiente leyenda de clasificación: Alto (>150

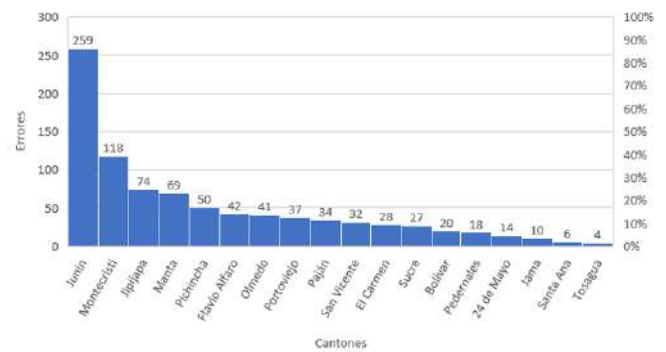


Figura 1. Distribución de errores de accesibilidad en los portales de los GAD cantonales de Manabí.

Fuente: Los autores.

cantones como los resultados evidencian en la Figura 1. Aquello nos permite identificar la atención prioritaria y mejoras significativas de las pautas. Como en el cantón Junín, que enfrenta el mayor impacto, acumulando 259 errores, lo

Tabla 5. Errores críticos por principios WCAG 2.1 (Nivel AA).

Fuente: Los autores

Cantón	Perceptible (Imagen/Color)	Operable (Teclado/ARIA)	Comprensible (Lenguaje)	Robusto (Tec. Asist.)	Total	Clasificación
Portoviejo	8	2	1	0	11	Bajo
Chone	106	80	33	34	253	Alto
Montecristi	62	55	5	5	127	Alto
24 de mayo	74	4	33	34	145	Medio-Alto
Jama	3	8	1	0	12	Bajo

errores), Medio-Alto (100-150), Medio-Bajo (50-99) y Bajo (<50).

3.2. Herramienta WAVE

Como se indica en la Figura 1 los resultados del análisis realizado con la herramienta WAVE, muestra el número de errores totales encontrados en cada uno de los portales web de los cantones, la variabilidad y la magnitud de los problemas de accesibilidad y usabilidad que enfrentan estos sitios.

El análisis de los errores encontrados evidencia desigualdad. En total, se registraron 883 errores distribuidos entre distintos

que equivale al 29.33% de todas las incidencias registradas. Este alto número refleja una necesidad urgente de revisar y mejorar la accesibilidad en su portal web. De manera similar, Montecristi, con 118 errores que representan el 13.36% del total, también muestra retos importantes, que deben ser atendidos para cumplir con los estándares recomendados. Por otro lado, los cantones de Santa Ana y Tosagua tienen los menores niveles de incidencia, con sólo 0.68% y 0.45% respectivamente, lo que podría sugerir un mejor cumplimiento de las pautas de accesibilidad. Sin embargo, estos porcentajes no son determinantes, ya que la simplicidad de los portales web analizados puede influir en los resultados. Es necesario realizar una

revisión que considere aspectos técnicos y funcionales.

3.3. Herramienta Lighthouse

Rendimiento

En continuidad, se realizó el análisis con la herramienta Lighthouse (Chrome for developers, s. f.). Sus métricas consisten en:

- Primer procesamiento de imagen de contenido: El FCP mide el tiempo que tarda el navegador en renderizar el primer elemento de contenido del DOM después de que un usuario navega a tu página.
- Índice de velocidad: El índice de velocidad es una de las cinco métricas que se registran en la sección Rendimiento del informe de Lighthouse. Cada métrica captura algún aspecto de la velocidad de carga de la página.
- Tiempo de bloqueo total: El tiempo de bloqueo total (TBT) es una de las métricas a las que se les hace un seguimiento en la sección Rendimiento del informe de Lighthouse. Cada métrica captura algún aspecto de la velocidad de carga de la página.
- Procesamiento de imagen con contenido más grande: El procesamiento de imagen con contenido más grande (LCP) es una de las métricas que se registran en la sección Rendimiento del informe de Lighthouse. Cada métrica captura algún aspecto de la velocidad de carga de la página.
- Los cambios de diseño inesperados pueden interrumpir la experiencia del usuario de muchas maneras, desde hacer que pierda el lugar mientras lee si el texto se mueve de repente hasta hacer que haga clic en el vínculo o botón incorrecto. En algunos casos, esto puede causar daños graves.
- Puntuación de accesibilidad: La puntuación de accesibilidad de Lighthouse es un promedio ponderado de todas las auditorías de accesibilidad de las otras métricas.

Los resultados generales de las métricas, se clasifican según su rango de valoración de rendimiento con el siguiente criterio: color verde “Bueno (90 - 100)”, con color anaranjado “Necesita mejorar (50 - 89)”, y con color rojo “Deficiente (0 - 49)”. En la Figura 2 se presenta un mapa cantonal de la provincia de Manabí que muestra los resultados obtenidos mediante la herramienta.

Bueno (90 - 100): Los sitios web de Flavio Alfaro y Jama, demuestran un rendimiento óptimo, lo cual indica un rendimiento efectivo de su estructura web y una mejor experiencia de usuario general.

Necesita mejorar (50 - 89): Cantones como Olmedo y Bolívar muestran un rendimiento moderado, que sugiere que, aunque

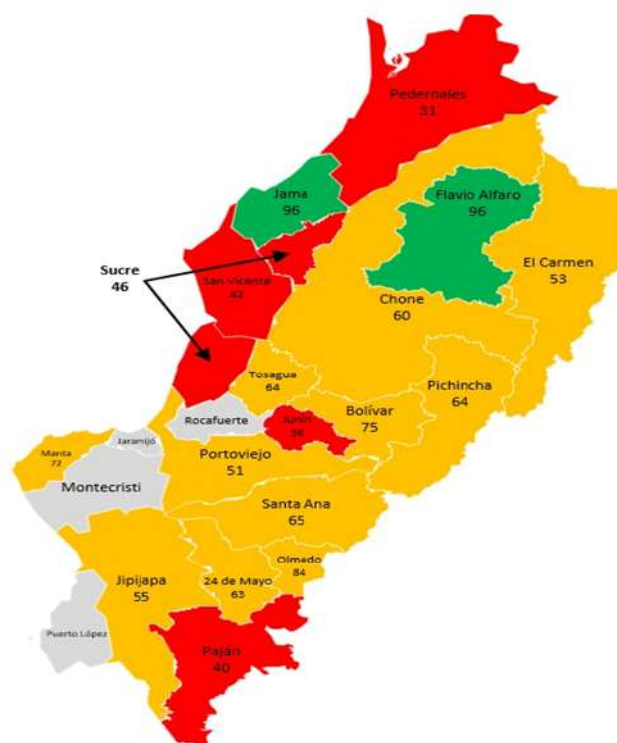


Figura 2. Mapa de Manabí representando el rendimiento con Lighthouse.

Fuente: Los autores.

están razonablemente optimizados, todavía hay margen de mejora en varios aspectos técnicos que podrían elevar su calificación.

Deficiente (0 - 49): Junín y Pedernales presentan los menores índices de rendimiento, indicando problemas significativos que podrían afectar negativamente la accesibilidad y la usabilidad del sitio.

Los resultados demuestran la valoración del desempeño de cada uno de los portales web cantonales, proporcionando una referencia útil, real y efectiva sobre el cumplimiento de los criterios establecidos.

Evaluación de ARIA

La Figura 3 representa un análisis de los resultados obtenidos del cumplimiento de los atributos ARIA (Accessible Rich Internet Applications) usando la herramienta Lighthouse. El cumplimiento de los atributos ARIA (w3.org, s. f.), es fundamental para mejorar la accesibilidad web, permitiendo que las interfaces en Internet sean más accesibles para personas con discapacidades. La Figura 3 es un diagrama radial que muestra la puntuación de ARIA para cada cantón, con puntuaciones que

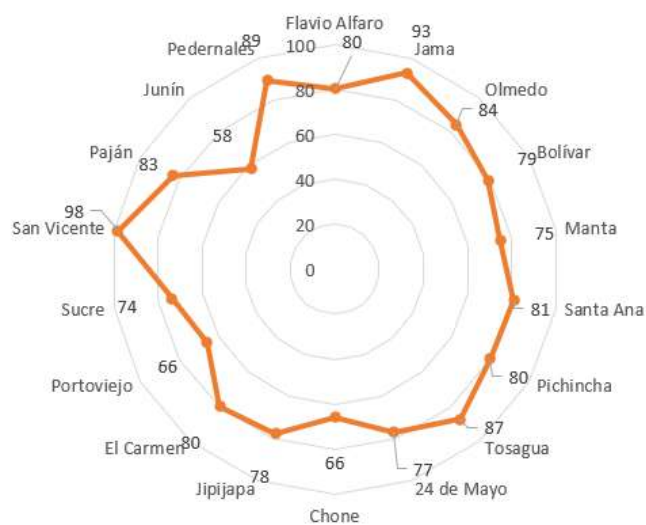


Figura 3. Resultado de la evaluación ARIA con la herramienta Lighthouse.

Fuente: Los autores.

varían desde 0 hasta 100. Las líneas se conectan a cada punto en la figura, ofreciendo una visualización clara de cómo cada cantón se compara con los demás en sus valores de accesibilidad.

Cantones como San Vicente, Jama y Pedernales muestran las puntuaciones más altas, con lo que indica una implementación acertada de los atributos ARIA, mejorando la experiencia de usuario y de personas con discapacidades. Por otra parte, el rendimiento más bajo, lo presentan los cantones de Junín, Portoviejo y Chone, indicando que necesitan hacer mejoras

sustanciales en la implementación ARIA para asegurar que sus sitios web sean completamente accesibles.

Este análisis visual proporciona una comprensión inmediata de las áreas donde los GAD de Manabí evaluados están sobresaliendo en términos de accesibilidad y usabilidad, y dónde se requieren intervenciones urgentes. La implementación efectiva de ARIA no solo mejorará la accesibilidad, sino también, reflejará el compromiso de los cantones con la inclusión digital y el acceso equitativo a sus servicios en línea.

3.4. Tendencias, propuestas y oportunidades de mejora

La Tabla 5, describe el análisis global de las tendencias identificadas en los portales web de los GAD cantonales de la provincia de Manabí en cumplimiento a los cuatro principios fundamentales de las WCAG 2.1 (Tabla 2). Además, resalta las oportunidades de mejora que pueden implementar para optimizar. En concordancia con las tendencias identificadas, se estableció una ponderación (Tabla 6) para clasificar la prioridad de cada tendencia, de la siguiente manera: 1 nivel alto, 2 nivel medio y 3 nivel bajo.

A partir de los resultados analizados, se identificaron tendencias negativas de los portales web evaluados, como la falta de descripciones alternativas en imágenes, contrastes de color inadecuado, navegación poco accesible y estructuras semánticas deficientes. Para abordar estos problemas, los desafíos propuestos incluyen la adopción de estrategias técnicas y metodológicas con el enfoque de mejorar la accesibilidad digital; tales como: la implementación de etiquetas ALT en imágenes,

Tabla 6. Tendencias y propuestas de mejora.

Fuente: Los autores.

Categoría	Tendencias	Propuestas	Oportunidades de mejora	Ponderación
Perceptible	Falta de descripciones alternativas para imágenes y contenido multimedia.	Implementación de etiquetas ALT y transcripciones para contenido multimedia.	Uso de herramientas automáticas para la detección de problemas de accesibilidad.	3
	Contrastes de color insuficientes que dificultan la legibilidad.	Mejorar la selección de combinaciones de colores para cumplir con estándares de contraste.	Implementación de combinaciones de colores accesibles validadas con herramientas de contraste.	1
Operable	Navegación limitada para usuarios con discapacidad motriz.	Mejorar la navegación con teclado y asegurar estructuras semánticas adecuadas.	Capacitaciones para desarrolladores en accesibilidad web.	1
	Enlaces y botones sin etiquetas descriptivas adecuadas.	Optimizar la identificación de elementos interactivos con etiquetas claras.	Incorporación de auditorías de accesibilidad para evaluar etiquetas y elementos interactivos.	2
Comprensible	Uso de lenguaje técnico poco claro para usuarios no especializados.	Simplificar el lenguaje y mejorar la claridad de las instrucciones.	Incorporación de pruebas de usuario con personas con discapacidad.	2
	Falta de instrucciones claras en formularios y procesos interactivos.	Diseñar formularios accesibles con instrucciones visibles y auto explicativas.	Aplicación de metodologías de diseño centrado en el usuario.	1

Robusto	Incompatibilidad con tecnologías de asistencia como lectores de pantalla.	Optimizar la compatibilidad con lectores de pantalla y otras tecnologías de asistencia.	Adopción de estándares internacionales y buenas prácticas en accesibilidad digital.	1
	Estructuras semánticas inadecuadas que afectan la interpretación del contenido.	Reestructurar los sitios web con una jerarquía clara y etiquetas adecuadas.	Revisión y actualización de la estructura HTML y etiquetas de contenido.	3

la optimización de la compatibilidad con lectores de pantalla y el desarrollo de estructuras de contenido más comprensibles y bien organizadas. Todo esto se ha clasificado en un nivel de prioridad con una ponderación establecida. Las oportunidades de mejora presentadas en la Tabla 5, proponen acciones concretas que pueden ser adoptadas para garantizar el cumplimiento de los estándares internacionales, tales como capacitaciones para desarrolladores, auditorías de accesibilidad, pruebas de usuario con personas con discapacidad y la integración de herramientas automáticas de evaluación.

3.5. Discusión

Los resultados evidencian que el 85 % de los portales web de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) cantonales de Manabí presentan un cumplimiento insuficiente de las pautas WCAG 2.1, mostrando deficiencias particularmente en los principios de perceptibilidad, operabilidad y robustez. La prevalencia de imágenes sin texto alternativo (78 %), incompatibilidad con navegación por teclado (62 %) y una baja implementación de atributos ARIA (19 %) reflejan barreras técnicas significativas para los usuarios con discapacidad.

Además de estos aspectos técnicos, se observó también una marcada disparidad territorial entre los GAD urbanos y rurales, destacando Portoviejo y Manta con menor cantidad de errores, lo que sugiere que la disponibilidad de recursos técnicos puede influir directamente en la calidad de la accesibilidad web. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que evidencian barreras digitales a nivel local (Salazar Grijalva, 2019).

El panorama se agrava al considerar la brecha de conectividad. Según reportes sobre los servicios digitales (INEC, 2024) indican que un 34% de hogares ecuatorianos (1.751.158) carecen de acceso a internet con una marcada diferencia entre zonas urbanas y rurales. Este contexto resalta la importancia de que los portales disponibles sean plenamente accesibles, evitando que la falta de adaptación tecnológica profundice desigualdades existentes.

Por otro lado, la eficiencia de las herramientas automatizadas (TAW, WAVE, Lighthouse) empleadas para detectar errores técnicos, su alcance es limitado para evaluar aspectos que requieren comprensión del contexto, análisis de la lógica de navegación o pruebas de usabilidad reales que garanticen una experiencia de usuario satisfactoria, lo que plantea la necesidad de

incorporar pruebas con usuarios reales. Esto puede generar falsos positivos o negativos, afectando la precisión del diagnóstico. Asimismo, la naturaleza transversal del estudio y la exclusión de tres portales. Además, el estudio proporciona una visión transversal en un momento específico, por lo que sus resultados pueden variar con el tiempo. La exclusión de cuatro portales que presentaron dificultades durante la evaluación, impide contar con un panorama completo del estado de accesibilidad de los GAD de Manabí.

Otra limitación del estudio es su enfoque en WCAG 2.1, sin incluir pruebas directas con usuarios finales, especialmente aquellos con discapacidad. Esto restringe la capacidad de detectar barreras más sutiles y permite reconocer las limitaciones inherentes a la investigación, las cuales deben ser consideradas al interpretar los resultados.

Para superar estas limitaciones, se proponen tres líneas de investigación futuras:

- Auditorías manuales exhaustivas realizadas por expertos en accesibilidad para validar los hallazgos actuales.
- Pruebas de usabilidad con usuarios con discapacidad, siguiendo metodologías previas (Salazar Grijalva, 2019b), para detectar barreras no identificadas por herramientas automatizadas.
- Monitoreo longitudinal que evalúe la evolución de la accesibilidad de los portales a lo largo del tiempo y analice el impacto de futuras intervenciones.

Asimismo, se recomienda ampliar el estudio con enfoques cualitativos, explorando en profundidad las causas del bajo cumplimiento en los GAD como la falta de capacitación o políticas institucionales. Asimismo, se sugiere expandir el alcance geográfico a otras provincias de Ecuador, permitiendo una evaluación a nivel nacional sobre accesibilidad web en portales gubernamentales.

El cumplimiento de estas recomendaciones contribuirá a fortalecer las capacidades locales y alinear a los GAD con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente:

- ODS 10: Reducción de las desigualdades, garantizando que todos los ciudadanos -incluidos aquellos con discapacidad- tengan acceso sin barreras a la información y servicios públicos.
- ODS 16: Paz, justicia e instituciones sólidas, fortaleciendo

la transparencia y participación ciudadana mediante portales accesibles.

Finalmente, el resultado de este estudio proporciona un diagnóstico integral sobre el estado de accesibilidad y usabilidad web en los portales de los GAD cantonales de Manabí. El incumplimiento de las pautas WCAG 2.1 resalta la necesidad de una implementación efectiva, no solo como una obligación legal, sino como una condición clave para avanzar hacia una sociedad digital verdaderamente inclusiva.

4. Conclusiones

Los resultados demuestran que los portales evaluados (18 de 22) presentan barreras que limitan la accesibilidad y usabilidad, dificultando la participación ciudadana y el ejercicio de sus derechos digitales. Este hallazgo refuerza la evidencia sobre la brecha digital existente y la necesidad de impulsar el cumplimiento de las pautas de accesibilidad WCAG 2.1 en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (ONU, 2024).

Si bien las herramientas automatizadas utilizadas permiten la detección de errores técnicos con eficiencia, no son suficientes para la identificación de aquellos errores que requieren comprensión del contexto, una evaluación de la lógica de navegación o pruebas de usabilidad reales que pueden generar falsos positivos o negativos.

Adicionalmente; es necesario resaltar que el estudio proporciona una visión transversal, más general de los portales en un momento específico, que, por su naturaleza dinámica, puede variar en el tiempo. La exclusión de cuatro portales que se encontraban inaccesibles durante la evaluación impide tener un panorama completo del 100% de los GAD de Manabí. Y el enfoque centrado en la accesibilidad (WCAG 2.1), sin incluir pruebas directas con usuarios finales, especialmente aquellos con discapacidad; nos lleva a reconocer las limitaciones inherentes a esta investigación, las cuales deben ser consideradas al interpretar los resultados.

Derivado del análisis de los resultados y superar las limitaciones identificadas, se proponen tres líneas de acciones futuras. (1) auditorías manuales exhaustivas realizadas por expertos en accesibilidad; (2) pruebas de usabilidad que involucren directamente a usuarios con diversas discapacidades similar a la metodología (Salazar Grijalva, 2019) con lo que permitiría validar los hallazgos actuales y descubrir barreras no detectadas por las herramientas, (3) monitoreo periódico de los portales para monitorear la evolución de la accesibilidad a lo largo del tiempo, potencialmente evaluando el impacto de futuras intervenciones o capacitaciones, (4) investigaciones cualitativas para comprender causas internas del bajo cumplimiento en los GAD: y (5) se recomienda expandir el alcance geográfico del estudio a otras provincias de Ecuador para obtener una visión nacional y realizar análisis específicos sobre la accesibilidad en dispositivos móviles, dado el creciente uso para acceder a los servicios gubernamentales.

El resultado de este estudio proporciona un diagnóstico integral sobre el estado de la accesibilidad y usabilidad web en los

portales de los GAD cantonales de la provincia de Manabí. El incumplimiento de las pautas WCAG 2.1 no solo es un problema técnico, sino también una cuestión legal y ética.

Agradecimientos

Profunda gratitud a DIOS como el principal gestor y fuente de ayuda esencial en cada etapa. A Él le damos todo el crédito por la inspiración, la fortaleza y las oportunidades que hicieron posible la realización de este trabajo.

Contribución de los autores

Jorge Eduardo Echeverría Hidrovo: Conceptualización, Metodología, Curación de datos, Análisis formal, Software, Visualización, Redacción – borrador original del artículo. **Víctor Joel Pinargote Bravo:** Conceptualización, Investigación, Validación, Supervisión, Administración del proyecto, Redacción – revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Acosta, T., & Luján-Mora, S. (2017). Análisis de la accesibilidad de los sitios web de las universidades ecuatorianas de excelencia. *Enfoque UTE*, 8(1), 46–61. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.133>
- Arias-Flores, H., Sanchez-Gordon, S., & Calle-Jimenez, T. (2022). E-democracy and accessibility: Challenges in the Ecuadorian presidential elections of 2021 in the midst of the COVID-19 pandemic. En T. Ahram & R. Taiar (Eds.), *Advances in Usability and User Experience* (Vol. 39). AHFE International. <https://doi.org/10.54941/ahfe1001716>
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2012). *Ley Orgánica de Discapacidades*. Registro Oficial Suplemento 796. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulaciones/2019-02/Documento_Ley-Organica-Discapacidades.pdf
- Chacón Martínez, K. M. (2020). Análisis de la política de transporte y accesibilidad universal en Ecuador. *Territorios en Formación*, 18, 48–61. <https://doi.org/10.20868/tf.2020.18.4604>
- Chanchi, G. E., Ospina, M. A., & Pérez, J. L. (2020). Inspección de accesibilidad mínima sobre el portal de turismo del Instituto de Cultura y Turismo de Bolívar, Colombia. *Espacios*, 41(50), 61–73. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n50p06>
- Das, S., Das, A. K., Awasthi, S., & Tripathi, M. (2024). Comparison of open science portals of India: Web accessibility study. *Collection and Curation*, 43(2), 94–102. <https://doi.org/10.1108/CC-12-2023-0045>





- Google. (s. f.). *Lighthouse*. Chrome for Developers. <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse?hl=es-419>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2014). *NTE INEN-ISO/IEC 40500 Tecnología de la información - Directrices de accesibilidad para el contenido web del W3C (WCAG) 2.0 (ISO/IEC 40500:2012, IDT)*. https://defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/inen_iso_ice_40500-unidov-1.pdf
- Jordanoski, Z., & Meyerhoff Nielsen, M. (2023). The challenge of web accessibility: An evaluation of selected government websites and service portals of high, middle and low-income countries. En *ICEGOV 2023: Proceedings of the 16th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance* (pp. 101–110). ACM. <https://doi.org/10.1145/3614321.3614343>
- Mariño, S. I., & Pagnoni, V. (2020). Web accessibility in mobile devices: Evaluation of an educational portal of national scope. *International Journal of Educational Research and Innovation*, (14), 177–194. <https://doi.org/10.46661/ijeri.4606>
- Mertler, C. A. (2012). *Introduction to educational research* (4^a ed.). Sage Publications.
- Mutambik, I., Almuqrin, A., Lee, J., Zhang, J. Z., Alomran, A., Omar, T., Floos, A., & Homadi, A. (2021). Usability of the G7 open government data portals and lessons learned. *Sustainability*, 13(24), Article 13740. <https://doi.org/10.3390/su132413740>
- Ojeda-Mera, C., Injante, R., Valles-Coral, M., Pinedo, L., Tejada, K., & García-Bautista, A. (2024). Current state of web accessibility in Latin America: An exploratory review of assessments and tools used. *Revista Española de Documentación Científica*, 47(1), Article e371. <https://doi.org/10.3989/redc.2024.1.1464>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2024). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Estrategia mundial sobre salud digital 2020–2025*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344251/9789240027572-spa.pdf?sequence=1>
- Raut, P., & Singh, V. P. (2024). Enhancing accessibility and usability of government websites. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 12(3), 729–734. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.58751>
- Salazar Grijalva, E. D. (2019). Análisis de la accesibilidad y usabilidad gráfica en los sitios web gubernamentales de la provincia de Esmeraldas para personas con discapacidad visual y auditiva [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. *Repositorio Institucional PUCE*. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/2871f242-48fa-429f-bdc2-8daa190f904c>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2023). *Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) 1.2*. <https://www.w3.org/TR/wai-aria-1.2/>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2024). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>



Análisis de Sentimiento y Clasificación de Texto para la Detección Automática de Acosos y Amenazas Mediante Inteligencia Artificial

Sentiment Analysis and Text Classification for Automatic Detection of Harassment and Threats Using Artificial Intelligence

Autores

* **Kevin Alexander Mendoza Campoverde**

✉ kmendoza7@utmachala.edu.ec

Javier Valentín Hurtado Gonzalez

✉ jhurtado6@utmachala.edu.ec

Rodrigo Fernando Morocho Román

✉ rmorocho@utmachala.edu.ec

Wilmer Braulio Rivas Asanza

✉ wrivas@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala,
Facultad de Ingeniería Civil, Machala,
El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Mendoza Campoverde, K.A., Hurtado Gonzalez, J.V., Morocho Román, R.F. & Rivas Asanza, W.B. (2025). Análisis de Sentimiento y Clasificación de Texto para la Detección Automática de Acosos y Amenazas Mediante Inteligencia Artificial. *Informática y Sistemas*, 9(1), 82–92. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7470>

Enviado: 22/04/2025

Aceptado: 20/05/2025

Publicado: 21/05/2025

Resumen

El presente trabajo muestra una comparación entre dos modelos de inteligencia artificial para la detección de lenguaje agresivo en redes sociales entre un modelo tradicional de clasificación de texto y un modelo basado en redes neuronales profundas. Se utilizaron dos enfoques principales: regresión logística utilizando vector TF-IDF y un modelo basado en BERT adaptado para procesamiento de lenguaje natural. En cuanto a la metodología se aplicó CRISP-DM, abordando desde la preparación de los datos hasta la parte final que es la evaluación de los modelos. Se presentaron balances en el conjunto de datos, el cual se corrigió usando la técnica SMOTE. La evaluación de modelos nos demostró que BERT alcanzó mejores métricas de rendimiento con una medida F1 promedio de 0.93 en comparación a la regresión logística que presentó un 0.83. Las métricas junto con la revisión de errores de clasificación ayudaron a observar de forma más clara en qué aspectos cada enfoque presentaba fortalezas o mostraba limitaciones. En síntesis, los resultados obtenidos manifiestan que BERT ofrece ventajas importantes para la tarea de moderación de contenido en redes sociales y además se pudo confirmar que el preprocesamiento adecuado y el balanceo de los datos son factores clave para mejorar el rendimiento en problemas relacionados con la clasificación de texto.

Palabras clave: Ciberacoso; Clasificación de texto; BERT; Regresión logística; Redes sociales

Abstract

This paper shows a comparison between two artificial intelligence models for the detection of aggressive language in social networks between a traditional text classification model and a model based on deep neural networks. Two main approaches were used: logistic regression using TF-IDF vector and a BERT-based model adapted for natural language processing. As for the methodology, CRISP-DM was applied, addressing from data preparation to the final part which is the evaluation of the models. Balances were presented in the data set, which was corrected using the SMOTE technique. The model evaluation showed us that BERT achieved better performance metrics with an average F1 measure of 0.93 compared to logistic regression which presented a 0.83. The metrics together with the review of classification errors helped to observe more clearly in which aspects each approach presented strengths or showed limitations. In summary, the results obtained show that BERT offers significant advantages for the task of content moderation in social networks, and it was also possible to confirm that proper preprocessing and data balancing are key factors to improve performance in problems related to text classification.

Keywords: Cyberbullying; Text classification; BERT; Logistic regression; Social media



1. Introducción

¿Cómo ha transformado Internet la forma en que las personas se comunican en las últimas dos décadas? Más allá de ser un ecosistema global donde la información fluye sin fronteras, también ha traído consigo una serie de desafíos en torno a la seguridad y el bienestar de los usuarios en plataformas digitales. Chérrez y Ávila-Pesantez (2021), señalan que las redes sociales han evolucionado hasta convertirse en espacios donde la vulnerabilidad de los usuarios se multiplica exponencialmente. Dentro de los problemas que existen uno de estos es alarmante el cual es el ciberacoso, el cual hoy en día este problema supone un grave riesgo para la salud emocional y física de un gran número de usuarios de Internet. Gracias al anonimato informático y el fácil acceso a las plataformas digitales el ciberacoso ha aumentado dando cabida a expresiones discriminatorias y violentas. Según el Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad (2022): El 46% declara haber sufrido acoso en alguna ocasión, lo que ha generado consecuencias psicológicas severas, desde cuadros de ansiedad y depresión hasta ideación suicida. Frente a la magnitud de este problema, los métodos tradicionales de moderación se han quedado cortos. La cantidad de contenido generado en plataformas como Twitter, Facebook e Instagram hace prácticamente imposible la intervención humana exhaustiva. Mientras un moderador humano apenas puede analizar 100 publicaciones por hora, un sistema automatizado es capaz de procesar miles de textos de manera simultánea (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital et al., 2022). Diferentes estudios donde analizan la ciberagresión entre adolescente como por ejemplo el análisis de Álvarez-García et al. (2017) donde nos dice que la prevalencia de la ciber agresión entre los adolescentes y los diferentes de género tienen un impacto a largo plazo en la salud mental y bienestar digital.

La inteligencia artificial junto con una de sus capacidades la cual es el análisis de sentimientos ha llegado hacer su parte en alivio de los desafíos de lenguaje agresivo en redes sociales cuantificando la intensidad y relevancia de estos tonos emocionales en los textos logrando una mayor precisión que lo métodos tradicionales para detectar casos de acoso. De acuerdo con Bartolome (2021), la reducción del contenido dañino en las plataformas digitales sería de hasta un 62%, lo que pone de relieve su significativo impacto. No obstante, la detección de acoso de forma automatizada sigue siendo un desafío considerable, y esto se debe principalmente a la complejidad del lenguaje utilizado dentro las redes sociales. No tiene suficiente solo con analizar las palabras; el tono, el contexto y las referencias culturales también juegan un papel determinante. Varela Campos (2024) señala que cada publicación representa un pequeño universo comunicativo que muchas veces escapa a los enfoques clásicos de análisis. Además, fenómenos

como el sarcasmo, la ironía y el lenguaje figurado complican aún más el trabajo de los sistemas automatizados, ya que un comentario aparentemente neutro puede esconder distintas capas de agresividad que solo un análisis más profundo logra revelar. Vinuesa-Álvarez et al. (2023) nos dicen que aproximadamente el 73 % de los casos de ciberacoso involucran el uso de un lenguaje indirecto o altamente contextual, presentando un desafío importante para los sistemas automáticos de detección. Además, el ciberacoso no solo tiene un impacto directo en la salud mental de los adolescentes, sino que también promueve dinámicas de exclusión social entre ellos (Marín-Cortés, 2020).

Ante estos desafíos, el desarrollo de modelos de aprendizaje automático cada día evolucionan con el fin de abordar la complejidad creciente del lenguaje en entornos digitales. Si bien entonces, métodos clásicos nos muestran buenos resultados en tareas iniciales como son Naive Bayes o máquinas de vectores de soporte (SVM) estas mismas con el tiempo han evidenciado que sus capacidades son limitadas frente a los matices lingüísticos característicos de la comunicación en redes sociales. Por el contrario, enfoques más recientes como BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) nos han dado resultados positivos con un avance significativo en el procesamiento del lenguaje natural. A diferencia de modelos tradicionales que analizaban el texto de forma secuencial, BERT considera el contexto en ambas direcciones, lo que le permite interpretar mejor el significado completo de las oraciones. Esta característica ha demostrado ser especialmente valiosa en tareas como la clasificación de sentimientos y la detección de discursos de odio (Collarte Gonzalez, 2020). De igual manera, modelos generativos como GPT-2 y GPT-3 han mostrado una notable versatilidad para la clasificación de texto. Aunque inicialmente se diseñaron para generar texto, su capacidad para identificar patrones e intenciones en mensajes complejos también los ha hecho útiles en labores de clasificación, particularmente en la detección de amenazas o contenido agresivo (Chiu et al., 2022). En esta misma línea, investigaciones recientes han evidenciado que la combinación de BERT con modelos de tópicos mejora la clasificación de sentimientos en textos breves como los tweets, lo que refuerza su aplicabilidad en plataformas de redes sociales (Palani et al., 2021). Además, la efectividad de BERT en la detección de acoso en redes sociales ha sido probada en competencias internacionales de procesamiento del lenguaje natural, como SemEval-2017 (Das & Pedersen, 2024).

En investigaciones actuales como la de Amalia y Suyanto (2024) que explican el potencial de BERT en contexto similares, donde lograron un F1-score de 0,89 detectando lenguaje ofensivo y discurso de odio en redes sociales usando BERT, destacando su eficiencia en el manejo de textos con alto contenido emocional.

De manera similar, Amrenta-Segura et al. (2023) lograron obtener métricas significativas en tareas multimodales en datos textuales y visuales para identificar discurso de odio en memes. Asimismo, Aggarwal y Mahajan (2024) obtuvieron resultados superiores al 90% de precisión con un modelo conjunto entre BERT y SVM en ambientes sociales digitales reales.

Aunque existe una gran cantidad de investigaciones sobre la detección de lenguaje agresivo en redes sociales, muchos trabajos siguen enfocándose en modelos tradicionales y no terminan de resolver el problema del desbalance de clases en los datos. En este sentido, el presente estudio busca aportar algo distinto al comparar de manera práctica un modelo clásico de clasificación con uno de aprendizaje profundo como BERT, incorporando además la técnica SMOTE para equilibrar las clases. Con este enfoque se pretende no solo evaluar el rendimiento bajo escenarios más realistas, sino también analizar con más detalle los errores de clasificación, lo que podría servir como base para futuras estrategias de moderación automática de contenido.

A partir de esta problemática, se plantean las siguientes preguntas de investigación que orientan el presente estudio: ¿Qué tan efectivos son los modelos avanzados de inteligencia artificial, como BERT, en la detección automática de mensajes agresivos y amenazas en redes sociales?, ¿Cuál es el rendimiento de los modelos tradicionales (como Regresión Logística) en comparación con modelos avanzados en la clasificación de textos agresivos? y ¿Qué técnicas de balanceo de datos pueden mejorar la efectividad de los modelos en conjunto de datos desbalanceados con mensajes mayoritariamente no agresivos?

Como objetivo principal de la presente investigación es comparar de manera precisa y analítica el desempeño de los modelos tradicionales como lo es la regresión logística y los modernos como tenemos BERT para la clasificación y análisis de texto logrando detectar acoso, insultos y amenazas en línea. Para ello se utilizarán métricas de evaluación que son la precisión, la sensibilidad y la medida F1, estas métricas son de gran ayuda por que nos permiten valorar la capacidad de los modelos para clasificar correctamente distintos tipos de contenido textual. Se utilizará el conjunto de datos llamado Cyberbullying Dataset, disponible en la plataforma Kaggle, el cual contiene una amplia variedad de textos etiquetados, que abarcan desde mensajes con insultos y lenguaje ofensivo hasta contenidos parciales. Este conjunto de datos, ampliamente reconocido en la comunidad de procesamiento de lenguaje natural, permitirá entrenar y validar los modelos, evaluando su capacidad de generalización frente a textos con características diversas. Además, este enfoque permitirá responder las preguntas de investigación planteadas, proporcionando un marco práctico para comprender y abordar las limitaciones y capacidades de los modelos en la detección de textos agresivos.

Este estudio se apoya en la metodología CRISP, la cual estructura el proceso de análisis en seis etapas: comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implementación. Esta metodología facilita una

organización clara del trabajo y también promueve la obtención de resultados coherentes y replicables. Esta investigación también busca aportar al desarrollo de modelos más eficaces para la detección automática de acoso y amenazas en entornos digitales, a la vez que se propone un marco práctico que pueda ser adoptado por plataformas tecnológicas para implementar estas soluciones de forma eficiente. En última instancia, este trabajo busca contribuir a la creación de espacios digitales más seguros, inclusivos y sostenibles para toda la comunidad de usuarios.

2. Materiales y Métodos

La metodología CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) utilizada en este estudio es ampliamente aceptado en el campo del análisis de datos ya que nos ofrece marco estructurado pero lo suficientemente flexible como para adaptarse a diferentes tipos de proyectos, guiando cada etapa del proceso desde la definición del problema hasta la implementación de las soluciones. El proceso se divide en seis principales fases: comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implementación; estas fases están diseñadas para asegurar la solidez del análisis y favorecer la replicabilidad de los resultados obtenidos. En la Figura 1 se detallan las fases que conforman la metodología CRISP-DM, la cual sirvió como base para organizar y desarrollar el proceso de minería de datos en este estudio. En esta sección, se describen las primeras cuatro etapas con un enfoque en los materiales, herramientas y métodos utilizados.

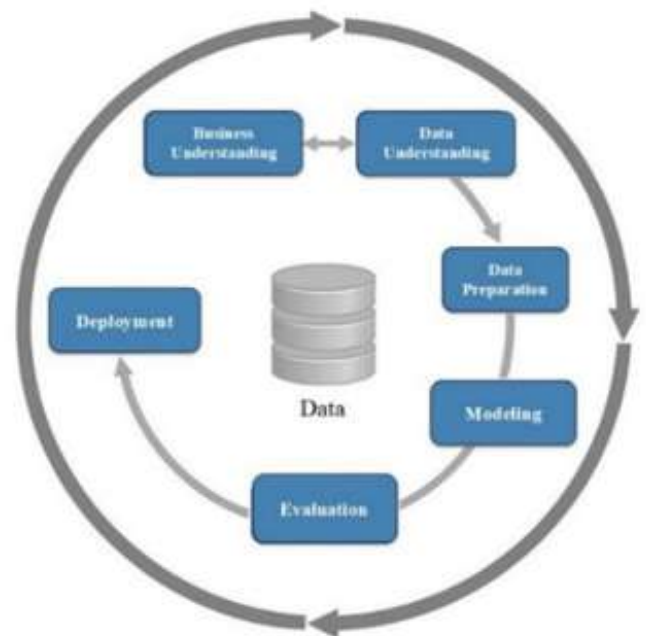


Figura 1. Etapas de la metodología CRISP-DM.
Fuente: Autoría propia basada en Rueda (2019)



Comprensión del negocio

El ciberacoso representa uno de los principales desafíos sociales en el entorno digital actual. A medida que el uso de las redes sociales crece exponencialmente, también lo hace el riesgo de conductas agresivas y amenazantes que afectan el bienestar psicológico y emocional de los usuarios. Este fenómeno es especialmente preocupante debido a su carácter persistente, su alcance global y la capacidad de los perpetradores para actuar de manera anónima. Por ello de manera urgente resulta fundamental avanzar con el desarrollo de herramientas automatizadas capaces de identificar de forma temprana y precisa contenidos que puedan representar un riesgo para los usuarios. En La Figura 2 se puede observar el porcentaje de personas que han reportado haber sido víctimas de ciberacoso en diversas plataformas de redes sociales según nos indica Panda Security, lo que pone de manifiesto la magnitud del problema en los entornos digitales. Los datos reflejan, además, que las plataformas con mayor nivel de interacción social y un fuerte componente visual tienden a ser más propensas a este tipo de conductas agresivas. La exposición al contenido digital sin regulación eficiente ha permitido que prácticas de ciberacoso continúen afectando a millones de usuario, lo que resalta la urgencia de soluciones tecnológicas efectivas (Panda Security, 2023).

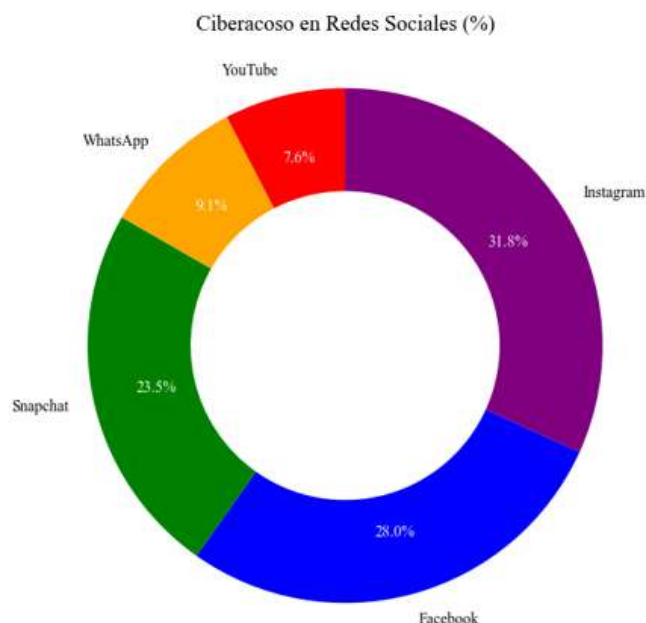


Figura 2. Porcentaje de usuarios que han experimentado ciberacoso en diferentes plataformas de redes sociales.
Fuente: Autoría propia basada en Panda Security (2023)

Comprensión de los datos

Para este estudio, se empleó el Cyberbullying Dataset, un conjunto de datos disponible en la plataforma Kaggle (<https://www.kaggle.com/datasets/saurabhshahane/cyberbullying-dataset>) y fue desarrollado por Saurabh Shahane, se ha seleccionado este conjunto de datos por que ha sido ampliamente utilizado en investigaciones previas, ya que contiene ejemplos reales de interacciones extraídas de redes sociales, organizados en archivos de formato CSV. Cada registro incluye, entre otros campos, el mensaje escrito por el usuario (etiquetado como "Text") y una variable llamada "oh_label", que clasifica el contenido como agresivo (valor "1") o no agresivo (valor "0"). Para ofrecer una visión más clara de su estructura, la Figura 3 presenta una muestra de las primeras filas del conjunto de datos.

	index	id \			
0	5.74948705591165E+017	5.74948705591165E+017			
1	5.71917888690393E+017	5.71917888690393E+017			
2	3.90255841338601E+017	3.90255841338601E+017			
3	5.68208850655916E+017	5.68208850655916E+017			
4	5.75596338802373E+017	5.75596338802373E+017			
			Text Annotation	oh_label	
0	@halalflaws	@biebervalue	@greenlinerzjm I read...	none	0.0
1	@ShreyaBafna3	Now you idiots claim that people...		none	0.0
2	RT @Mooseoflorment	Call me sexist, but when I ...	sexism	1.0	
3	@g0ssipsquirrelx	Wrong. ISIS follows the examp...	racism	1.0	
4	#mkr	No No No No No No No	none	0.0	

Figura 3. Primeras filas del archivo toxicity_parsed_dataset.csv.
Fuente: Los autores.

Gracias a su diseño este conjunto de datos se convierte en una herramienta valiosa para tareas de clasificación de texto, ya que refleja una amplia variedad de actitudes y comportamientos observados en las redes sociales, desde interacciones ofensivas hasta conversaciones neutrales. En la Tabla 1 se detallan las principales características del Cyberbullying Dataset, incluyendo las categorías de mensajes presentes y su estructura original

Tabla 1. Características del Cyberbullying Dataset
Fuente: Los autores.

Elemento	Descripción
Conjunto de datos	Cyberbullying Dataset - Kaggle
Categorías del conjunto de datos	Ciberacoso directo, lenguaje ofensivo, neutro
Tamaño del conjunto de datos	Más de 100,000 registros
Formato de datos	CSV (valores separados por comas)

Preparación de los datos

A pesar de que el conjunto de datos ya está bien estructurado, los modelos necesitan de una etapa llamada preprocesamiento del texto, esta etapa nos asegura la calidad y coherencia de los datos utilizados en el análisis. El preprocesamiento de texto consiste en diversas tareas con el fin de mejorar la representatividad de los datos, en esta investigación la primera de esas tareas fue realizar una limpieza del texto ya que no aportaban nada al modelado como, por ejemplo, caracteres especiales, números y secuencias repetitivas, como comillas dobles y guiones bajos. Además, se convirtió todo el contenido textual a minúsculas, lo que ayudó a estandarizar su formato y evitar posibles inconsistencias durante el análisis. Luego se aplicó la tokenización, que consiste en segmentar el texto en palabras individuales facilitando el análisis de cada término de manera aislada, otra tarea del preprocesamiento de texto fue eliminar las palabras vacías que son términos comunes como “the”, “is” o “of”, que no aportan valor significativo para la clasificación. Posteriormente se aplicó la lematización reduciendo las palabras a su forma base, unificando aquellas que comparten la misma raíz pero que presentan variaciones gramaticales. Este proceso de normalización contribuyó a un mejor desempeño del modelo al reducir el ruido en los datos.

Por último, el conjunto de datos presentaba un desbalance al tener mayor cantidad de mensajes no agresivos que de agresivos, para solucionar este problema y equilibrar el conjunto de entrenamiento se aplicó la técnica SMOTE la cual consiste en generar ejemplos sintéticos de la clase minoritaria mejorando la capacidad del modelo para identificar mensajes agresivos. Gracias al balanceo aplicado, se logró un aumento en las métricas de precisión y sensibilidad en la detección de lenguaje agresivo. En la Figura 4 se ilustra de manera esquemática todo el proceso de preprocesamiento llevado a cabo en este trabajo.

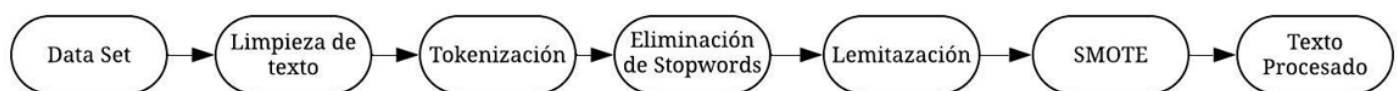


Figura 4. Etapas del preprocesamiento de texto.
Fuente: Los autores.

Modelado

Para el modelado comparamos modelos de clasificación de texto para la identificación de mensajes agresivos en línea, implementado el modelo tradicional conocido como Regresión Logística y modelos avanzados basados en aprendizaje profundo conocido como BERT.

Modelos tradicionales

Como primera instancia, este trabajo seleccionó técnicas tradicionales de machine learning ya que en este caso se pretendía establecer un marco de comparación sencillo pero eficaz. Se utilizó la regresión logística, un modelo ampliamente utilizado desde hace mucho tiempo debido a su simplicidad y bajo coste

computacional. Para adaptar los textos al modelo fue necesario convertirlos en vectores numéricos, algo que se concretó a través de la técnica TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency), característica que permite resaltar las palabras de más peso dentro de los documentos.

Para entender mejor cómo funciona la regresión logística, tenemos la representación gráfica y su función sigmoidea en la figura 5; función que resulta clave, pues permite transformar cualquiera de las entradas lineales en una probabilidad que se encuentra entre 0 y 1, facilitándose así la toma de decisiones en cuanto a la clasificación.

De esta manera comprenderemos mejor cómo funciona el algoritmo, y por qué a pesar de ser un modelo sencillo sigue siendo útil para resolver problemas binarios a día de hoy, incluso ante modelos más complejos.

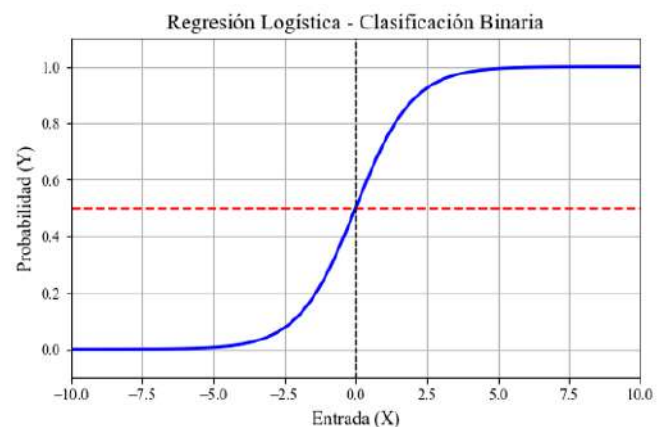


Figura 5. Función sigmoidea y grafica de la regresión logística.
Fuente: Los autores, adaptado de Logistic Function (s. f.)

Modelos avanzados

Aparte de las estrategias tradicionales, se optó por implementar el modelo BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) con los parámetros correspondientes de la tarea de clasificación binaria de la biblioteca Transformers de Hugging Face. El procedimiento realizado incluye como primera instancia la tokenización, que consiste en convertir los textos en tokens que el modelo es capaz de procesar. Luego se aplicó el entrenamiento que es un proceso de ajuste del modelo con los conjuntos de datos ya preprocesados eligiendo la función de pérdida correspondiente para la clasificación binaria, por último, se aplicó la optimización; para ellos se usó del optimizador AdamW y programadores de tasa de aprendizaje; con el objetivo de que el modelo sea lo

más eficiente posible. La Figura 6 muestra el rendimiento de los diferentes modelos en la detección de lenguaje ofensivo, observando las diferencias en precisión, sensibilidad y medida F1 entre el enfoque tradicional y el enfoque avanzado.

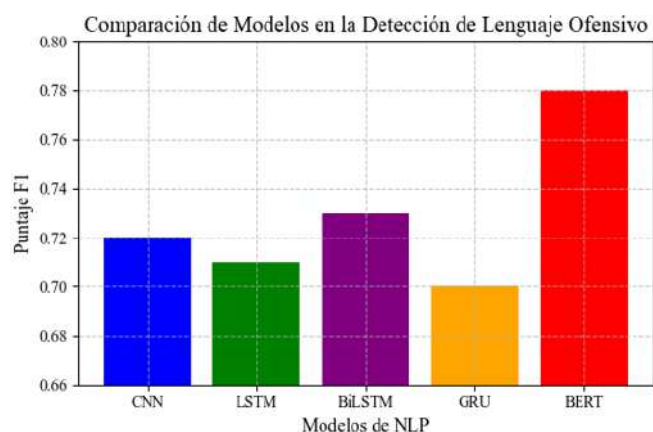


Figura 6. Comparación de modelos en la detección de lenguaje ofensivo.

Fuente: Los autores, basado en Sapora et al. (2019)

Detalles de implementación de modelos

En cuanto al modelo mas avanzado BERT, se utilizó la arquitectura bert-base-uncased que se adaptó a una tarea de clasificación binaria mediante la biblioteca Transformers de Hugging Face, para el proceso de tokenización se configuro una longitud máxima de 128 tokens con relleno automático y mecanismos de truncamiento.

El entramiento fue mediante 5 épocas, utilizando un tamaño de lote de 16 ejemplos y el optimizador AdamW con una tasa de aprendizaje de $2e-5$, para la función de perdida se utilizó la entropía cruzada (CrossEntropyLoss). Se dividió los datos mediante en 80% para entrenar y 20% para validación, teniendo en cuenta que se mantengan el equilibrio de clases en ambos subconjuntos, en lugar de validación cruzada se utilizó una partición fija conocida con una semilla aleatoria (random_state=42) de esta manera se aseguro la reproducibilidad de los resultados. Para el balanceo de clases, se aplico varias estrategias en función de modelo. Para la regresión logística, se utilizo SMOTE sobre los vectores TF-IDF previamente extraídos, donde se generó ejemplos sintéticos de la clase minoritaria para equilibrar el conjunto de entramiento, al contrario del modelo avanzado se escogió un método de sobremuestreo aleatorio, duplicando las instancias de la clase minoritaria directamente sobre el conjunto original antes del proceso de tokenización.

Esta decisión permitió mantener la integridad semántica de los textos y mejorar el balance de clases sin introducir datos sintéticos en la arquitectura basada en aprendizaje profundo.

Ética y Consideraciones de Privacidad

En la investigación se adoptó medidas necesarias para garantizar la privacidad y confidencialidad de los datos debido a que el conjunto de datos tendría información sensible; todos los textos procedieron a ser anonimizados y los resultados se utilizaron únicamente con el fin investigativo respetando la normativa ética correspondiente.

3. Resultados y Discusión

Para evaluar qué tan bien están funcionando los modelos, observamos cuatro indicadores de rendimiento principales: sensibilidad (recall), medida F1 y exactitud, las demás mediciones se determinaron para cada clase utilizando promedios macro y ponderados, con la evaluación más justa que tiene en cuenta el desbalance inicial en los datos. La función de clasificación_report de la biblioteca de Scikit-Learn le brinda estas métricas directamente de las etiquetas reales y las predicciones del modelo. Para Bert, la clase más probable se eligió mediante la que tiene mayor oportunidad (Argmax), y no había necesidad de establecer ningún límite manual. El estudio también se mejoró al incluir una matriz de confusión y gráficos que muestran el rendimiento para cada categoría, lo que facilita ver dónde los modelos tuvieron éxito o fallaron.

3.1. Desempeño del modelo BERT

El modelo BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), entrenado sobre un conjunto de datos balanceado mediante la técnica SMOTE, evidenció un rendimiento robusto en la clasificación binaria de mensajes agresivos y no agresivos. Para el entrenamiento se utilizaron cinco épocas y un tamaño de lote de 16, lo cual permitió obtener resultados estables sin indicios de sobreajuste. Durante el proceso de entrenamiento, se registró una disminución progresiva de la función de pérdida, comenzando en 0.41 y reduciéndose hasta 0.03 en la quinta época. Este comportamiento sugiere que el modelo logró aprender los patrones relevantes del lenguaje sin presentar problemas de oscilación o estancamiento. La Figura 7 ilustra la curva de pérdida obtenida, confirmando la correcta convergencia del modelo.

El modelo avanzado utilizado que es el BERT nos dio una respuesta muy buna con una precisión general del 93% y una medida-F1 promedio del 0.93, manteniendo un equilibrio en ambas clases. En la Tabla 2 podemos ver las métricas evaluadas, obteniéndose una precisión mayor para la clase no agresiva

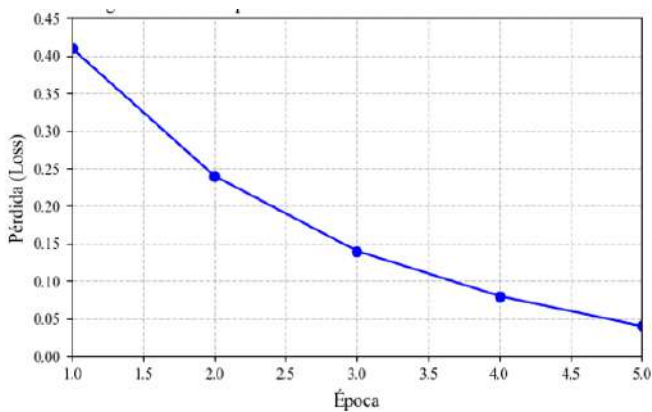


Figura 7. Curva de pérdida durante el entrenamiento del modelo BERT.

Fuente: Los autores.

(0.96) y una mayor sensibilidad para la clase agresiva (0.96), lo que indica que se ha alcanzado un equilibrio entre la detección y la precisión.

Tabla 2. Métricas de evaluación del modelo BERT.

Fuente: Los autores.

Clase	Precisión	Sensibilidad	Medida F1	Soporte
0 (No agresivo)	0.96	0.90	0.93	2301
1 (Agresivo)	0.90	0.96	0.93	2300
Promedio macro	0.93	0.93	0.93	
Promedio ponderado	0.93	0.93	0.93	
Precisión global	—	—	0.93	4601

Los resultados obtenidos permiten concluir que BERT es un modelo efectivo para la detección automatizada de ciberacoso, especialmente en entornos textuales complejos como las redes sociales, donde la ambigüedad semántica y la variabilidad lingüística representan desafíos significativos para los clasificadores tradicionales.

3.2. Evaluación por clase y métricas generales

El modelo BERT se comportó de una manera equilibrada cuando se pretendía clasificar si los mensajes eran agresivos o no agresivos, de modo que la precisión global que logró alcanzar fue del 93% y obtuvo una medida F1 promedio del 0.93. Esas medidas indican que se trató de un modelo fiable y robusto, es decir, uno que supo generalizar bien sobre el lenguaje variable de las redes sociales.

La distribución de aciertos y errores que se puede observar se puede resumir en una matriz de confusión que se puede ver en la Figura 8 donde se pueden apreciar que el modelo supo identificar bien 2238 mensajes agresivos, así como 2022 mensajes no agresivos; no obstante, también suma 279 falsos positivos es

decir que ha clasificado como agresivos a mensajes neutros, así como 62 falsos negativos que no han sabido detectar que contenía agresiones reales en los mensajes.

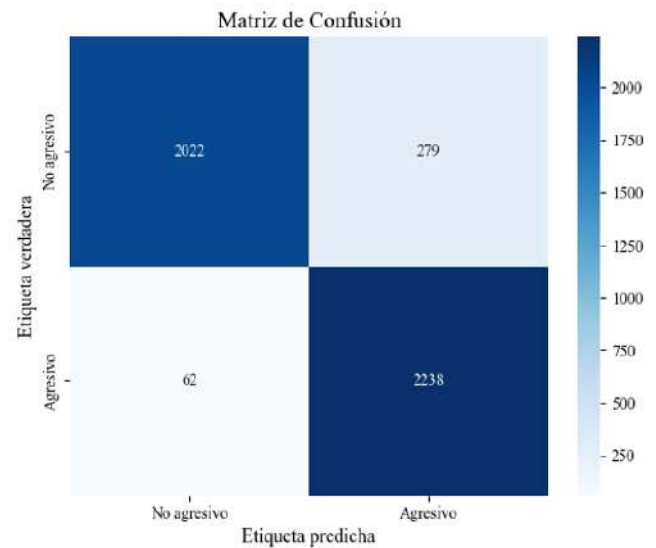


Figura 8. Matriz de confusión del modelo BERT.

Fuente: Los autores.

Las métricas por clase también fueron representadas gráficamente en la Figura 9, destacándose una mayor precisión en la clase no agresiva (0.96) y una mayor sensibilidad en la clase agresiva (0.96). Esta combinación sugiere que el modelo es particularmente efectivo para la detección de lenguaje ofensivo, sin comprometer su capacidad de discernir entre lo agresivo y lo neutro.

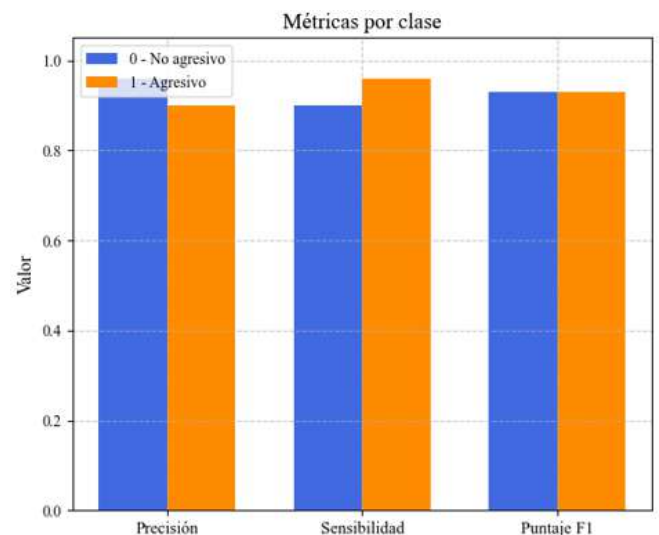


Figura 9. Métricas por clase del modelo BERT: precisión, sensibilidad y medida F1.

Fuente: Los autores.

El adecuado rendimiento equilibrado del modelo en ambas clases es un elemento primordial para aplicaciones de detección

automática de ciberacoso, garantizando así una baja frecuencia de errores sobre un entorno sensible como son los espacios digitales usados por adolescentes y jóvenes.

3.3. Comparación entre modelos tradicionales y avanzados

Con la intención de valorar cómo se comportan las distintas técnicas para la detección automática del lenguaje agresivo utilizado en redes sociales, se realizó una comparativa entre dos enfoques diferentes, uno el modelo tradicional de Regresión Logística con vectores TF-IDF y, por otro lado, el modelo avanzado BERT basado en redes neuronales profundas. Ambos modelos se entrenaron y evaluaron sobre el mismo conjunto de datos que fue previamente balanceado usando SMOTE.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de ambas estrategias donde se describen las métricas de precisión, sensibilidad, medida F1 y exactitud general. Mientras que la Regresión Logística obtuvo una medida F1 promedio de 0.83, el modelo BERT supera ese rendimiento con una media de 0.93, lo que pone en evidencia una mejora sustancial en la detección.

Tal como se muestra en la Figura 10, la matriz de confusión del modelo de Regresión Logística presenta una cantidad considerable de errores de clasificación de mensajes agresivos (241 falsos negativos y 351 falsos positivos). Este comportamiento se ve reflejado igualmente en la Figura 11, donde se aprecia una gran diferencia entre las métricas de ambas clases, sobre todo en la

Tabla 3. Comparación del rendimiento entre modelos tradicionales y avanzados.
Fuente: Los autores.

Modelo	Precisión	Sensibilidad	Medida F1	Exactitud
Regresión Logística (TF-IDF)	0.83	0.82	0.83	0.82
BERT	0.93	0.93	0.93	0.93

precisión de la clase 1 (agresivo), que apenas logra superar el 0.70.

Al contrario, el modelo BERT presenta mayores precisiones y sensibilidades para ambas clases, además de que equilibra el rendimiento entre ambas, reduciendo el desbalance de rendimiento entre los mensajes clasificados como agresivos y no agresivos. Esta mejora de rendimiento se puede aventurar que es debida a la capacidad contextual de BERT, que mantiene las relaciones de las palabras, sin depender únicamente de su frecuencia, como lo hace el TF-IDF.

Como complemento de los resultados por clase, la Figura 12 permite ver de forma global el rendimiento de los modelos. El modelo BERT muestra un rendimiento superior al modelo de regresión logística para todas las métricas evaluadas, mostrando su superioridad para tareas de clasificación en lenguaje humano, donde el contexto semántico y la estructura gramatical son determinantes para la interpretación del mensaje.

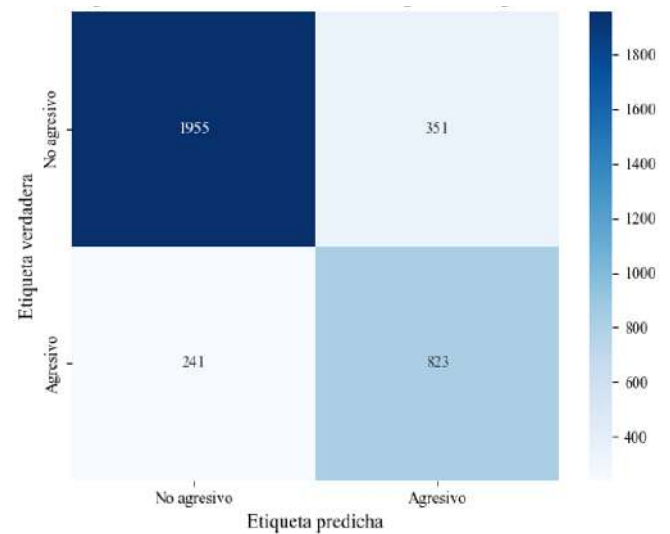


Figura 10. Matriz de confusión – Regresión logística.

Fuente: Los autores.

Por lo que podemos concluir que el modelo basado en BERT es una solución mejor para tareas de detección automática de ciberacoso, sobre todo en el caso de textos donde el lenguaje es ambiguo, con muchas expresiones coloquiales y sarcasmos, presente en los mensajes que nos ofrecen las redes sociales.

3.5. Discusión

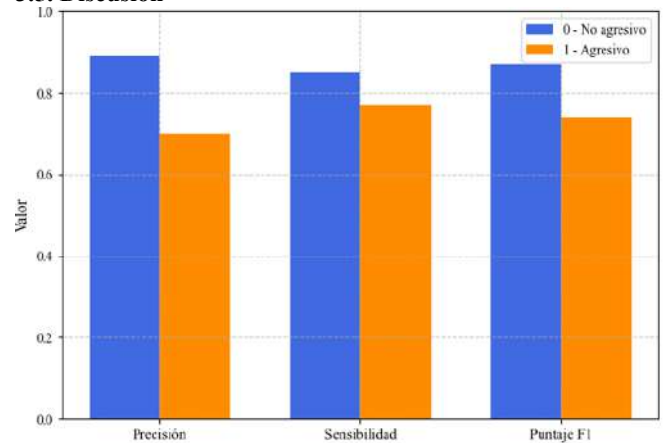


Figura 11. Matriz por clase – Regresión logística.

Fuente: Los autores.

Las comprobaciones comparadas entre los dos modelos llevados a cabo a través de experimentos de evaluación en el rendimiento de cada uno de ellos permitieron identificar diferencias considerables, no solo en su rendimiento global, sino en la manera en que cada modelo lleva a cabo la tarea implicando mensajes diferentes. Aunque ambos modelos aportaron resultados considerados como aceptables, resultó un hecho el que BERT mostró una mayor capacidad para detectar lenguaje agresivo, especialmente en aquellos ejemplos que requerían un contexto y

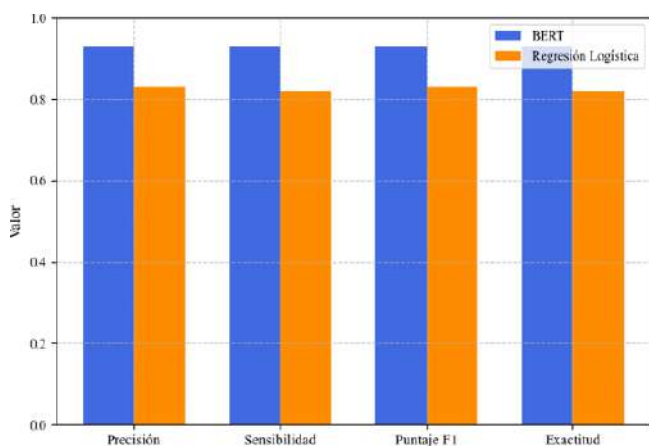


Figura 12. Comparación de métricas globales entre BERT y Regresión logística.

Fuente: Los autores.

matices semánticos elevados. En este sentido, la arquitectura de atención bidireccional, ayudo a analizar de mejor manera cuando se presentan textos ambiguos o expresiones no literales. Este tipo de comprensión debe ser considerarse en tareas tales como la moderación de contenido en las redes sociales, donde entender el trasfondo del mensaje puede marcar la diferencia.

Por otro lado, la regresión logística que se basa solo en representaciones TF-IDF, mostró carencias en el entendimiento de los mensajes con textos no literales. La regresión logística podemos decir que alcanzo una precisión razonable en general, pero cometió más errores al calcificar mensajes agresivos como no agresivos, y viceversa. Estos errores podemos observar en la matriz de confusión, en la que la métrica de sensibilidad era considerablemente menor para mensajes agresiones.

Aun así, gracias a su simplicidad y al bajo coste computacional, la regresión logística se puede seguir considerando válida en ambientes donde el enfoque rápido y eficiente por encima de la complejidad del modelo. Otro de los factores que afectan al rendimiento de ambos enfoques es la técnica SMOTE al balancear las clases. En un primer momento el conjunto de datos aporta un gran desbalance, lo que dificultaba que los modelos aprendieran patrones representativos de la clase minoritaria. Luego de aplicar el balanceo se observaron mejoras en métricas como la sensibilidad y la precisión. Este resultado pone de relieve la necesidad de poner en marcha estrategias de equilibrio, muy especialmente en tareas en las que las clases no están balanceadas.

No obstante, y aunque se haya avanzado mucho, también se han podido identificar limitaciones que no conviene perder de vista. Tanto BERT como la técnica de regresión logística tienen

ciertos problemas a la hora de poner a prueba mensajes que contengan sarcasmo o del lenguaje implícito. No son de hecho los casos con mayor frecuencia. Sin embargo, sus efectos sobre la precisión han podido deducirse. Esta observación muestra que en futuras investigaciones podría ser beneficiosa la integración de análisis pragmáticos o de componentes que tengan en cuenta aspectos socioculturales del lenguaje digital. En este sentido, la visualización de los resultados en forma de gráficos y matrices no sólo facilita interpretarlas en términos cuantitativos, sino que también sirve para entender de manera más profunda cómo y por qué fallan los modelos en determinados casos.

En comparación de estos resultados y de sus respectivas limitaciones con trabajos anteriores, se muestra una tendencia a la hora de usar modelos avanzados que se mantiene presente. Zampieri et al. (2019) presentan datos en los que BERT se asienta de forma clara como un modelo que, por sí mismo, supera de manera categórica los métodos clásicos en la precisa y la confiabilidad del discurso de odio, resultados que coinciden con los hallados en este trabajo. Por su parte, Pamungkas et al. (2020) también reportan que BERT, una vez más, obtiene tasas mucho más frecuentes y precisas de los modelos clásicos SVM y Naive Bayes. Estos precedentes nos remiten a la premisa inicial de que las arquitecturas de Transformers como BERT aportan ventajas reales para la captura de matices emocionales y contextuales en las redes sociales, llegando a ser una alternativa consolidada sobre modelos clásicos.

Si se comparan estos resultados con trabajos recientes que también usaron modelos BERT, se puede ver que el rendimiento logrado en este estudio se mantiene dentro del rango alto. Por ejemplo, Amalia y Suyanto (2024) lograron un F1-score de 0,89 al detectar lenguaje ofensivo, mientras que el presente estudio alcanzó un 0,93 trabajando con textos agresivos más variados. A diferencia de otras investigaciones, aquí se usó la técnica de sobre muestreo (SMOTE) en el modelo clásico y un enfoque práctico de duplicación en BERT, lo cual permitió manejar mejor el desbalance. Además, se estructuró todo el proceso bajo la metodología CRISP-DM, que no siempre se ve aplicada en este tipo de estudios. Aunque no se propone un nuevo modelo, la comparación práctica entre un enfoque tradicional y uno moderno con técnicas complementarias ofrece una base útil para trabajos similares en el futuro.

4. Conclusiones

Comparar la regresión logística y BERT para la detección automática de lenguaje agresivo en redes sociales ayudó a entender mejor la capacidad y límites de cada modelo. A lo largo del análisis, quedó bastante claro que BERT lleva ventaja en la mayoría de las métricas, sobre todo cuando se trata de captar el contexto o la intención detrás de un mensaje. Se percibió, en particular, en la detección de mensajes agresivos, donde logró

mantener un mejor equilibrio entre falsos positivos y falsos negativos, al contrario del modelo tradicional donde tuvo una respuesta más baja. Parece que la arquitectura basada en atención bidireccional le da a BERT una ventaja para captar matices que, de otro modo, podrían pasar desapercibidos.

En cambio, la regresión logística, pese a su simplicidad, demostró ser una opción razonable en escenarios donde los recursos computacionales no son los mejores. Aunque tuvo un desempeño aceptable en tareas más básicas, tuvo una respuesta baja cuando el análisis semántico debía ser más profundo. En este punto, conviene recordar que no todo el éxito de los modelos se debe a su estructura interna: aplicar SMOTE para balancear las clases también fue decisivo. Sin ese paso, probablemente los resultados habrían sido más modestos, especialmente para la clase minoritaria.

Más allá de los números, este trabajo también aporta una mirada práctica sobre cómo estas herramientas enfrentan un problema tan delicado como el ciberacoso.

Y no todo depende del modelo elegido: la limpieza de los datos, la forma en que se etiquetan los mensajes y hasta las particularidades del lenguaje que se usa en cada red social terminan pesando bastante en el resultado final. Aunque los modelos rindieron bien en general, hay temas pendientes que no se pueden ignorar, como el sarcasmo, el doble sentido o las expresiones cargadas de referencias culturales. Pensando en trabajos futuros, se podría pensar en la opción de incorporar modelos híbridos o estrategias que permitan entender mejor otros casos más complejos. Al final del día, entender la comunicación humana y toda su ambigüedad sigue siendo uno de los mayores desafíos para la inteligencia artificial.

El siguiente estudio más allá de comparar métricas también da un aporte, una guía práctica sobre cómo realizar un proceso completo de clasificación de texto en problemas actuales como el ciberacoso. Integrar CRISP-DM ayudó a que se mantenga una clara secuencia desde la comprensión del problema hasta finalmente la evaluación, lo que mejora poder replicarlo. Además, usar técnicas de balanceo como SMOTE y balanceo directo como se usó en BERT les da la facilidad a otros autores el poder adaptar este tipo de proyectos según sus necesidades. A pesar de que el modelo no es nuevo la forma de comparar y ajustar ambos enfoques puede ser útil para trabajos futuros donde se requiera precisión en la moderación de contenido.

Contribución de los autores

Kevin Alexander Mendoza Campoverde: Conceptualización, Metodología, Curación de datos, Software, Investigación, Visualización, Redacción – borrador original del artículo. **Javier Valentín Hurtado González:** Conceptualización, Metodología, Redacción – borrador original del artículo, Análisis formal. **Rodrigo Fernando Morocho Román:** Administración del proyecto, Supervisión, Revisión y edición del artículo. **Wilmer Braulio Rivas Asanza:** Validación – Verificación y Visualización.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Anexos

Anexo A. Evaluación adicional del modelo BERT

A.1. Ejemplos de textos mal clasificados

Ejemplos mal clasificados:		Text	Real	Predicción
2	RT	@ThatSabineGirl: These abusers on 8chan hav...	0	1
11	RT	@Rildom1: @YesYouresexist also get your shi...	1	0
19		@SevilZadeh Here is a great example of Mohamme...	0	1
61		I'm not a Misandrist but Males in General can ...	0	1
67		@lilrabmike @Chickowits said so bravely from t...	0	1
80		@JamesBolton11 Yup.	1	0
91		@Caspasia Boleyn and what a judgmental ass you...	0	1
98		#YesAllWomen see fire when men make excuses fo...	0	1
102		@Ammaawah @jml11t More sexism. Keep women "cha...	0	1
104	RT	@SMART234: ISIS: Jihadist police beat up w...	0	1

Anexo B. Preparación del conjunto de datos y balanceo de clases

B.1. Distribución original del conjunto de datos y distribución después de aplicar el balanceo

```
Distribución original:
oh_label
0.0    11501
1.0     5347
Name: count, dtype: int64

Distribución después del balanceo:
oh_label
1.0    11501
0.0    11501
Name: count, dtype: int64
```

B.2. Fragmento de código aplicado para el balanceo

```
# Balanceo dataset con sobremuestreo de la clase minoritaria
minority_df = df[df["oh_label"] == 1]
majority_df = df[df["oh_label"] == 0]
minority_upsampled = minority_df.sample(len(majority_df), replace=True, random_state=42)
df_balanced = pd.concat([majority_df, minority_upsampled]).sample(frac=1, random_state=42).reset_index(drop=True)

print("\nDistribución después del balanceo:")
print(df_balanced["oh_label"].value_counts())
```

Referencias bibliográficas

- Aggarwal, P., & Mahajan, R. (2024). Shielding social media: BERT and SVM unite for cyberbullying detection and classification. *Journal of Information Systems and Informatics*, 6(2). <https://doi.org/10.51519/journalisi.v6i2.692>
- Álvarez-García, D., Barreiro-Collazo, A., & Núñez, J.-C. (2017). Ciberagresión entre adolescentes: Prevalencia y diferencias de género. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, 25(50), 89–97. <https://doi.org/10.3916/C50-2017-08>
- Amalia, F. S., & Suyanto, Y. (2024). Offensive language and hate speech detection using BERT model. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 18(4), Article 4. <https://doi.org/10.22146/ijccs.9984191A.1>
- Armenta-Segura, J., Núñez-Prado, C. J., Sidorov, G. O., Gelbukh, A., & Román-Godínez, R. F. (2023). Ometeotl@



- Multimodal Hate Speech Event Detection 2023: Hate speech and text-image correlation detection in real life memes using pre-trained BERT models over text. En Proceedings of the Workshop on Combating Online Hostile Posts in Regional Languages during Emergency Situations (CONSTRAINT) (pp. 53–59). <https://aclanthology.org/2023.case-1.7/>
- Bartolomé, M. (2021). Redes sociales, desinformación, cibersoberanía y vigilancia digital: Una visión desde la ciberseguridad. *RESI: Revista de Estudios en Seguridad Internacional*, 7(2), 167–185.
- Chérrez, W. E. M., & Avila-Pesantez, D. F. (2021). Ciberseguridad en las redes sociales: Una revisión teórica. *Revista Uniandes Episteme*, 8(2), Article 2.
- Collarte Gonzalez, I. (2020). Procesamiento del lenguaje natural con BERT: Análisis de sentimientos en tuits [Trabajo de Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/a10e2295-b239-4305-aad1-1570259607bf/content>
- Das, R. K., & Pedersen, T. (2024). SemEval-2017 Task 4: Sentiment analysis in Twitter using BERT (No. arXiv:2401.07944). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.07944>
- Logistic function. (s. f.). Scikit-Learn. Recuperado 12 de febrero de 2025, de https://scikit-learn/stable/auto_examples/linear_model/plot_logistic.html
- Marín-Cortés, A. (2020). Las fuentes digitales de la vergüenza: Experiencias de ciberacoso entre adolescentes. *The Qualitative Report*, 25(1), 166–180. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2020.4218>
- Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, Red.es, & Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad. (2022). Beneficios y riesgos del uso de Internet y las redes sociales. Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad. <https://doi.org/10.30923/094-22-017-3>
- ONTSI. (2022). Violencia digital de género: Una realidad invisible. <https://www.ontsi.es/es/publicaciones/violencia-digital-de-genero-una-realidad-invisible-2022>
- Pamungkas, E., Basile, V., & Patti, V. (2020). Misogyny detection in Twitter: A multilingual and cross-domain study. *Information Processing & Management*, 57, 102360. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102360>
- Rueda, J. F. V. (2019, noviembre 4). CRISP-DM: Una metodología para minería de datos en salud. HealthDataMiner. <https://healthdataminer.com/data-mining/crisp-dm-una-metodologia-para-mineria-de-datos-en-salud/>
- Sapora, S., Lazarescu, B., & Lolov, C. (2019). Absit invidia verbo: Comparing deep learning methods for offensive language (No. arXiv:1903.05929). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.05929>
- Security, P. (2023, marzo 13). 52 estadísticas y datos alarmantes sobre el ciberacoso. Panda Security Mediacenter. <https://www.pandasecurity.com/es/mediacenter/52-estadisticas-ciberacoso/>
- Varela Campos, E. (2024). Análisis de la privacidad y seguridad en las redes sociales en un mundo de ciberdelitos. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/80324>
- Vinueza-Álvarez, C., Acosta-Uriguen, M. I., & Sigua, J. F. L. (2023). Análisis de clusterización en datos de encuestas sobre ciberacoso. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 35(2), Article 2. <https://doi.org/10.37815/rte.v35n2.1055>
- Zampieri, M., Malmasi, S., Nakov, P., Rosenthal, S., Farra, N., & Kumar, R. (2019). Predicting the type and target of offensive posts in social media. En J. Burstein, C. Doran, & T. Solorio (Eds.), Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers) (pp. 1415–1420). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1144>



Ciberseguridad en sitios web: auditoría de seguridad de una plataforma en línea

Website cybersecurity: security audit of an online platform

Autores

* **Juan Andres Jaramillo Barreiro** 

✉ jjaramillo26@utmachala.edu.ec

Joseph Camilo Reyes Sacaquirin 

✉ jreyes16@utmachala.edu.ec

Nancy Magaly Loja Mora 

✉ nmloja@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala,
Facultad de Ingeniería Civil, Machala,
El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Jaramillo Barreiro, J.A., Reyes Sacaquirin, J.C. & Loja Mora, N.M. (2025). Ciberseguridad en sitios web: auditoría de seguridad de una plataforma en línea. *Informática y Sistemas*, 9(1), 93–103. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v9i1.7466>

Enviado: 17/04/2025

Aceptado: 02/06/2025

Publicado: 09/06/2025

Resumen

Vivimos en un mundo digital cada vez más dependiente de plataformas en línea donde garantizar la seguridad se ha convertido en una de las grandes dificultades del día a día. Este trabajo muestra los resultados obtenidos de una auditoría de ciberseguridad sobre una plataforma web bajo este marco OWASP como marco de referencia técnico. En el análisis realizado se ha hecho énfasis en dos clases distintas de problemas: la configuración incorrecta de seguridad y los errores cometidos en la autenticación e identificación de los usuarios. En el proceso de evaluación realizado se detectaron una serie de vulnerabilidades destacada como pueden ser las cookies inseguras, los puertos abiertos con servicios sensibles expuestos o, la ausencia de autenticación multi-factor (MFA), entre otras. Si bien no se logró llevar a cabo la explotación de todas las vulnerabilidades detectadas debido a la existencia de mecanismos defensivos activos los hallazgos realizados permitieron proponer medidas de mitigación prácticas y aplicables. El estudio es capaz de validar como el marco OWASP se muestra útil para auditorías en la práctica y hace hincapié en que, a pesar de que ciertas técnicas informáticas limitan la transferencia de una serie de ataques, éstas no son capaces de sustituir la corrección de las configuraciones inseguras. Destacando también que se debe entender la ciberseguridad como un proceso cíclico y adaptativo. Estos resultados son de especial valía para organizaciones con escasos recursos, ya que ofrecen vías de trabajo aplicables para mejorar su postura de ciberseguridad a través de auditorías estructuradas y de defensa en profundidad.

Palabras clave: Ciberseguridad; OWASP; Auditoría de seguridad; Vulnerabilidades.

Abstract

We live in an increasingly digital world that is highly dependent on online platforms, where ensuring security has become one of the major challenges of daily life. This paper presents the results of a cybersecurity audit conducted on a web platform using the OWASP framework as a technical reference. The analysis focused on two distinct categories of issues: misconfigured security settings and errors in user authentication and identification. During the evaluation process, several vulnerabilities were identified, including insecure cookies, exposed open ports with sensitive services, and the absence of multi-factor authentication (MFA), among others. Although it was not possible to exploit all detected vulnerabilities due to the presence of active defensive mechanisms, the findings allowed for the proposal of practical and applicable mitigation measures. The study demonstrates that the OWASP framework is effective in real-world audits and emphasizes that while certain technical barriers may limit the success of specific attacks, they cannot replace the correction of insecure configurations. It also highlights the importance of understanding cybersecurity as a continuous and adaptive process. These results are particularly valuable for organizations with limited resources, as they provide actionable strategies to improve their cybersecurity posture through structured audits and defense-in-depth approaches.

Keywords: Cybersecurity; OWASP; Security audit; Vulnerabilities.



1. Introducción

En nuestra sociedad actual, la conectividad universal ha impactado significativamente la forma de acceder a servicios y trabajar, así como también la manera de comunicarse. Las plataformas en línea han permitido mejorar estos procesos, pero por otro lado también han expuesto tanto a organizaciones como a individuos, a diferentes tipos de ciberamenazas que incluyen el secuestro de datos (ransomware), la suplantación de identidad (phishing), la inyección de código perjudicial (Guaña-Moya et al., 2022). Estos tipos de ciberamenazas que afectan directamente a la privacidad, a la integridad y a la disponibilidad de la información son un problema tanto para personas como para empresas (Altamirano et al., 2024). Por lo cual se ha vuelto un tema altamente priorizado en el ámbito mundial, en particular para sectores como la educación, la economía y los servicios públicos (Teins y Andrade-Love, 2024).

Pero para muchas organizaciones, y sobre todo en Latinoamérica, la falta de recursos económicos, la falta de conocimiento en la materia o la falta de un marco legal terminan por asfixiar cualquier posible estrategia sobre ciberseguridad (Ávila Niño, 2023; Decenzin-Martinez, 2024). En el Ecuador, por ejemplo, los ataques de phishing son muy frecuentes, se encuentran entre las primeras posiciones de la región, lo que manifiesta la necesidad urgente de establecer medidas de defensa cibernética y de erradicar la cibercriminalidad (Broncano y Heaviness, 2021; Pérez, 2022).

Este trabajo se centra precisamente en el problema referido a la implementación de la seguridad cibernética en plataformas web, y concretamente en aquellas utilizadas para el comercio electrónico, que están continuamente expuestas a actos perpetrados por ciberdelincuentes que llevan a considerables pérdidas económicas y a importantes daños en la reputación (Flores-Alava y Mena-Hernández, 2023; Uceda et al., 2024).

El éxito en la defensa contra este tipo de amenazas no solo depende de contar con tecnología avanzada, sino que también debe contemplar políticas educativas que sensibilicen y capaciten a los usuarios finales (Muñoz, 2024; Ospina Díaz y Sanabria Rangel, 2024). En el marco de esto, aunque la inteligencia artificial trae consigo muchos beneficios a la hora de detectar amenazas, también resulta útil para los atacantes que encuentran en esta una manera de automatizar ataques como el phishing avanzado y la suplantación de identidad (He et al., 2023; Dolores y Rendón, 2024).

El estudio se encamina a encontrar las vulnerabilidades más relevantes dentro de plataformas web y define técnicas de prevención y respuesta a partir de recomendaciones de uso

internacionalmente reconocidas, las propuestas por OWASP (García y Pesantez, 2023; Parales et al., 2021). Es importante incluir las buenas prácticas en este tipo de situaciones, como son las pruebas de penetración (pentesting) y el análisis de explotación de vulnerabilidades, ya que estas permiten anticipar y contener posibles ataques, mejorando así los mecanismos de defensa (Nagata Bolivar et al., 2021; Ontiveros et al., 2024).

Es importante, sin embargo, no quedarse solo en un conocimiento práctico sobre los tipos de ataque; debe incluirse cómo se generan, qué métodos se emplean y qué puntos concretos de los desarrollos resulta más rentable explotar (Bermúdez-Bermúdez, 2024; Reyes et al., 2023). La progresiva evolución de la tecnología, incluyendo inteligencia artificial y deep learning, ha hecho que los métodos de ataque sean cada vez más sofisticados (Rivera et al., 2022), lo que requiere que las organizaciones se adapten a un entorno de amenazas cada vez en mayor evolución y peligro.

Sectores como el comercio y financiero, que tramitan información sensible y llevan a cabo operaciones críticas usando plataformas digitales, son especialmente vulnerables (García-Rojas et al., 2023; Vanegas Pineda y Ávila Quiceno, 2023). Ante esto, el análisis de casos concretos y la experiencia derivada de situaciones previas son prácticas necesarias para implementar soluciones integradoras donde se conjuguen tecnología, formación y marcos normativos en una actuación de ciberseguridad desde una perspectiva de integración.

De este modo, el objeto de este análisis es la identificación de las principales vulnerabilidades que son puestas de relieve por los ciberdelincuentes a partir de plataformas web, así como las soluciones tecnológicas y las políticas existentes con el fin de mitigar los riesgos derivados de aquellas. Esto se traduce en la pregunta de investigación central de este trabajo: ¿de qué forma, a partir de la identificación de vulnerabilidades, se puede fortalecer la seguridad de las plataformas web?

A raíz de que las amenazas evolutivas son cada vez más complejas, se hace evidente que herramientas tradicionales de defensa como los sistemas de detección y prevención de intrusos (IDS/IPS) y los firewalls no son suficientes para hacer frente a ellas (Capellino y Virgili, 2024; Hernández Domínguez y García, 2021).

En este sentido, en este trabajo se presentará un caso de auditoría de seguridad de aplicaciones web, un análisis en las vulnerabilidades detectadas y en las soluciones que se han implementado para corregirlas. Se persigue un objetivo general que no solo conlleva la necesidad de gestionar eficazmente el riesgo de un ciberataque sino que, además, construya los cimientos para desarrollar soluciones más robustas.

2. Materiales y Métodos

La metodología utilizada para la auditoría de seguridad en la plataforma de la aplicación web se encuentra estructurada siguiendo el estándar OWASP, un marco de evaluación de aplicaciones web reconocido internacionalmente. Esta estructura proporciona la oportunidad de ir llevando a cabo sistemáticamente las diferentes etapas del proceso de auditoría garantizando recubrimientos completos y profesionales respecto a las vulnerabilidades ya identificadas; su análisis y reducción de forma sistemática (Supriadi et al., 2024).

En este trabajo, la auditoría a partir de esta vulnerabilidad se basa en la configuración de seguridad incorrecta y error de identificación y autenticación, que son las dos críticas o críticas de OWASP.

- Configuración de seguridad incorrecta: esta vulnerabilidad trata los errores de configuración que tiene la plataforma y por lo tanto pueden exponer información sensible, permitir características innecesarias o tener rutas críticas disponibles. Su análisis incluirá una revisión de los títulos de seguridad, la configuración del servidor y las políticas de acceso, proporcionando posibles puntos de exposición y recomendaciones de configuración para poder mitigar la seguridad (Supriadi et al., 2024).

- Errores de identificación y autenticación: se evaluará la resistencia de los mecanismos de autenticación y de gestión de sesiones para poder determinar si tienen carencias que pueden poner en peligro la identidad del usuario. La auditoría evaluará aspectos como la complejidad de la acreditación, la introducción de medidas de seguridad, como la autenticación multimodal, y la salida de sesión correcta (Supriadi et al., 2024).

A continuación, se detallan las fases específicas de la metodología que se utilizará, justificando de esta forma su importancia en el contexto de la auditoría de seguridad.



Figura 1. Fases de la Auditoría de Seguridad aplicando la Metodología OWASP.

Fuente: Los autores, basados en el estudio de Escobar Ávila y Rojas Amado (2021).

Planificación y Preparación

La figura 2 representa los pasos más relevantes que se producen en la etapa de planificación y preparación de la auditoría de seguridad, la cual es fundamental para sentar unas bases sólidas. En esta fase, se procederá a definir el ámbito de la auditoría y los objetivos, lo cual nos lleva a estipular que el análisis se va a centrar en la búsqueda de configuraciones incorrectas

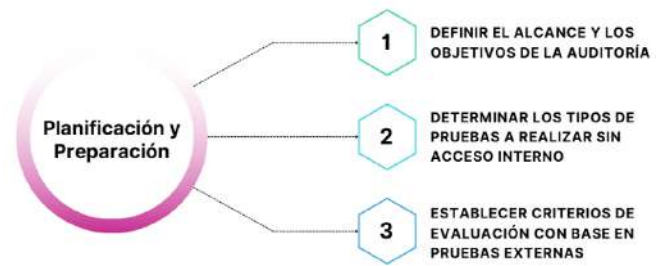


Figura 2. Actividades de la fase Planificación y Preparación.

Fuente: Los autores.

de seguridad y errores a la hora de identificar y confirmar la plataforma en línea.

Se elaborarán aspectos críticos activos para la evaluación como la configuración del servidor, los encabezados de seguridad, la gestión de sesiones o mecanismos de autenticación. También se seleccionarán los métodos más adecuados para analizar esta vulnerabilidad que nos permite asegurar un método estructurado, que identifica correctamente los riesgos.

Se procediendo a comprobar que las herramientas que se van a usar en las siguientes fases de la auditoría están actualizadas y con las que la infraestructura de la plataforma es compatible y funcionando correctamente durante la auditoría. En esta fase en particular, no se tiene en cuenta el rendimiento de las pruebas, sino que se orienta hacia la preparación de la estrategia para que determinados recursos y métodos puedan ser usados de una forma eficiente en el análisis de seguridad posterior.

Recolección de Información

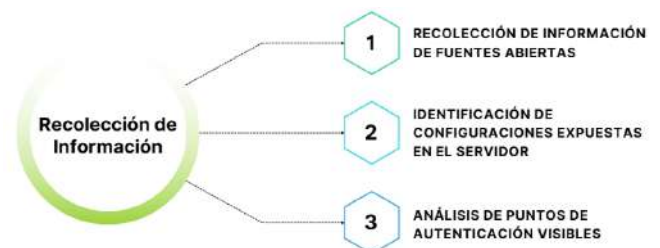


Figura 3. Actividades de la fase Recolección de Información..

Fuente: Los autores.

En la figura 3 se representará la fase correspondiente a la plataforma objetivo, es decir, el reconocimiento correspondiente a identificar las vulnerabilidades que tengan que ver con los mecanismos empleados por la aplicación web para la configuración y autenticación. En esta fase se emplearán técnicas para obtener información pública, tal como pueden ser direcciones IP, dominios, registros DNS y configuraciones de servidores, para poder detectar errores que puedan comprometer la seguridad de las infraestructuras que soportan dicha plataforma. Se espera que herramientas como WHOIS y NSLookup puedan comprobar el registro del dominio y la configuración del sistema DNS, lo que nos vendrá a mostrar ataques asociados a la administración



de un dominio y su resolución. Y, a su vez, estas herramientas nos pueden dar información clave de los servidores asociados al dominio (direcciones IP que posteriormente se analizarán).

Además, se utilizará NMAP para escanear puertos y servicios activos, ya que ello permitirá detectar posibles puertos abiertos (22 SSH, 80 HTTP, 443 HTTPS y demás) para descubrir si dichos puertos exponen algún servicio vulnerable. Se utilizará Shodan para identificar recursos públicos expuestos en internet mediante escaneos de puertos. Esto ayudará a dar contexto a los riesgos externos relacionados con la infraestructura tecnológica analizada. La información obtenida con estas herramientas será posteriormente utilizada en el análisis de vulnerabilidades con el que se podrá analizar la presencia de encabezados de seguridad HTTP mal configurados, exposición de información sensible, políticas de manejo de sesiones no seguras, y tokens mal gestionados. Estos resultados servirán como base técnica de propuestas orientadas a mitigar vulnerabilidades que se pudieran encontrar.

Análisis de Vulnerabilidades

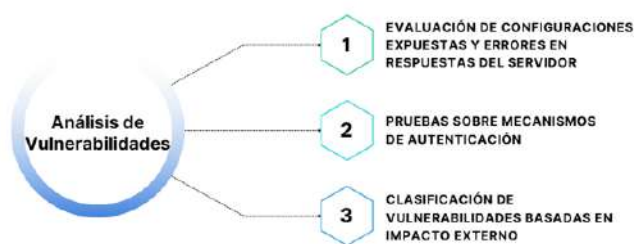


Figura 4. Actividades de la fase Análisis de Vulnerabilidades.
Fuente: Los autores.

En la Figura 4 se muestran las competencias que se ejecutarán en esta fase y que giran en torno a identificar y validar las vulnerabilidades de la plataforma, en especial aquellas que tienen que ver con la configuración y los errores inseguros en la autenticación. Las pruebas automáticas servirán para identificar los errores típicos de la autenticación, como podrían ser encabezados de seguridad mal configurados, permisos mal configurados, la ausencia de configuración de protocolos de autenticación débiles, etc. Pruebas manuales también se hacen prácticas para validar los resultados obtenidos con las pruebas automáticas, así como para explorar el espacio de vulnerabilidades que pueden comprometer la seguridad del sistema. También se analizará la autenticación y gestión de la sesión, evaluando la resistencia de las credenciales, la correcta implementación de la política de seguridad y la posibilidad de reutilizar sesiones. Para este análisis se utilizarán herramientas especializadas que

permitan realizar peticiones y capturar las respuestas HTTP, especialmente al estudiar los procesos de autenticación.

Estas pruebas serán la base para localizar agujeros de seguridad y proponer contramedidas adecuadas a las vulnerabilidades identificadas.

Las vulnerabilidades que fueron identificadas en la configuración de las cookies y en los mecanismos de autenticación robusta, parecen verse, aunque sutilmente, reducidas por la presencia de defensas activas introducidas por la plataforma (como son los cortafuegos de perímetro y las limitaciones de escaneos automatizados), lo que muestra que a la hora de evitar la explotación de las posibles vulnerabilidades, la plataforma tiene una clara inclinación a la defensa en profundidad, de acuerdo con el estilo de las prácticas actuales de la seguridad adaptativa.

Explotación de Vulnerabilidades

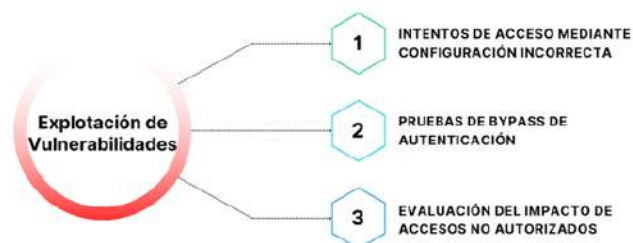


Figura 5. Actividades de la fase Explotación de Vulnerabilidades.
Fuente: Los autores.

La Figura 5 describe las actividades de esta fase, donde se evalúa las vulnerabilidades que se muestran en las pruebas controladas. En el caso de una plataforma en línea, se confirman vulnerabilidades asociadas con configuraciones y errores de seguridad inadecuados en los mecanismos de autenticación para determinar el nivel y el riesgo de su uso. Para evaluar la configuración de seguridad incorrecta, las pruebas controladas se realizan en los titulares de HTTP, y los permisos de acceso para determinar los posibles puntos de exposición que pueden poner en peligro la seguridad del sistema. También se analizarán configuraciones insuficientes en la gestión de sesiones, confirmando si permiten reciclar tokens o sesiones con vencimiento. Las pruebas se realizan en errores de identificación y autenticación para determinar las credenciales débiles y la ausencia de dicho mecanismo de protección, como la autenticación de factores múltiples (MFA). Los ataques controlados se simularán para evaluar la resistencia de los sistemas de autenticación a los intentos de acceso no autorizados que miden el posible impacto en la

seguridad de la plataforma. Y eventualmente, se analizarán las dificultades de las vulnerabilidades abiertas y se clasifican de acuerdo con su riesgo e impacto en el nivel de seguridad.

Documentación v Reporte

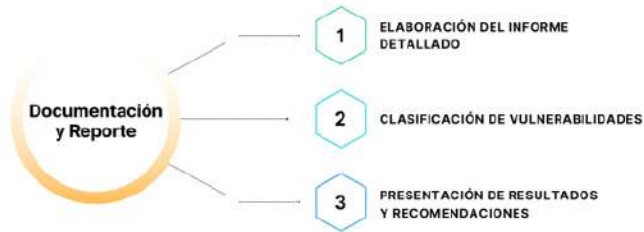


Figura 6. Actividades de la fase Documentación y Reporte.
Fuente: Los autores.

La Figura 6 muestra lo que haremos al final de la auditoría, que será principalmente documentar todo lo que encontremos durante la revisión y ofrecer recomendaciones para disminuir los problemas de seguridad que identifiquemos. Prepararemos un informe completo para organizar bien los resultados. En cuanto a la seguridad que no esté bien configurada y los errores en cómo se identifica y se permite el acceso a los usuarios, determinaremos qué tan serios son estos problemas. Además, incluiremos todos los resultados en un informe, que contendrá la información que reunamos y los puntos débiles que encontremos. Proporcionaremos indicaciones para mejorar la configuración de seguridad y fortalecer los mecanismos de autenticación, para que sea menos probable que alguien se aproveche de los posibles problemas que se encuentren.

3. Resultados y Discusión

Planificación y Preparación

El ámbito de actuación del presente informe relativo a la auditoría de la seguridad se considera centrado en realizar la evaluación de la plataforma web desde un ámbito externo sin acceso interno al sistema. El análisis del dominio principal y de los subdominios se conducen para identificar y determinar configuraciones o errores difíciles de detectar en los mecanismos de autenticación y en los mecanismos de manejo de sesiones. El proceso de auditoría se informatizó a partir de la recogida de datos públicos y, para ello, se aplicaron técnicas OSINT, como quienes o el escaneado del dominio y el análisis de los puertos abiertos. Asimismo se evalúa la seguridad del servidor web revisando los encabezados HTTP, las políticas de seguridad y la verificación de los accesos.

El análisis se realizó en dos puntos muy importantes e interesantes como son errónea configuración de la seguridad; analizando cabeceras HTTP, políticas de seguridad web, archivos sensibles que pueden estar expuestos. Así como las fallas de Identificación y autenticación; analizando mecanismos de acceso, gestión de sesiones, políticas de control de credenciales.

Este alcance ha sido definido de un modo que permite proporcionar una primera aproximación a la seguridad de la

plataforma desde un punto de vista externo e identificar qué puntos podrían estar expuestos y potencialmente comprometer la integridad o privacidad de los usuarios.

Los objetivos de esta auditoría son:

- Detectar configuraciones que no son válidas en la seguridad del servidor web, analizando encabezados HTTP, políticas de seguridad web, archivos sensibles que pueden estar en exposición.
- Detectar servicios y accesos que estén en exposición en la plataforma, analizando subdominios, puertos expuestos, o configuraciones DNS que pueden estar en la exposición.
- Detectar exposición pública de la información de autenticación, analizando credenciales pasadas por fuentes públicas utilizando OSINT o configuraciones mal protegidas.

Recolección de Información

Tabla 1. Resultados de la Fase de Recolección de Información.

Fuente: Los autores.

Herramienta	Hallazgos
NSLOOKUP	Servidor: dnsclt2.satnet.net Address: 200.25.144.1 Nombre: *****.com Address: 35.168.186.56
SUBLIST3R	www. *****.com aprendizaje. *****.com av. *****.com marketing. *****.com
HACKERTARGET	142.44.169.68 200.31.27.123 209.59.163.169
NMAP	Puertos abiertos: • 22/tcp: SSH • 80/tcp: HTTP • 443/tcp: HTTPS • 587/tcp: SMTP Servicios detectados: • Apache HTTP Server en puertos 80 y 443.
ANYMAILFINDER	atorres@*****.com jflores@*****.com dbasurto@*****.com

Análisis de Vulnerabilidades

Durante esta etapa se empezaron a detectar y validar las vulnerabilidades que posee la plataforma web a través de la combinación de herramientas automáticas con pruebas manuales. El análisis se realizó de forma selectiva a las categorías de Configuración de Seguridad Incorrecta y Fallas en la Identificación y Autenticación, y se han seguido los criterios del marco OWASP.

Se han empezado a utilizar herramientas como Nmap, Recon-NG, Sublist3r y WPScan, no obstante WPScan ha presentado ciertos problemas operativos como consecuencia de mecanismos

de protección anti-escaneo, lo cual ha llevado a la combinación con técnicas manuales.

Los principales hallazgos fueron los siguientes:

Explotación de Vulnerabilidades

no permitiendo obtener resultados de un primer análisis. Pese a que se volvió a realizar el análisis y se comunicó a WPScan que esta vez se ejecutaba mediante el protocolo HTTP, fue muy curioso que el programa comunicase que en este servidor no existía la aplicación WordPress. Este aspecto quedó refutado al

Tabla 2. Vulnerabilidades encontradas.

Fuente: Los autores.

Vulnerabilidad	Descripción
Cookies inseguras en la gestión de sesiones	Al revisar el sitio web, se encontró que algunas cookies no estaban bien protegidas. Una de ellas no tenía una medida de seguridad llamada HttpOnly, lo que permite que códigos maliciosos puedan leerla. También tenían una configuración llamada SameSite: None, que facilita ciertos ataques desde otras páginas. Aunque eran seguras para usar en conexiones protegidas, no se borraban al cerrar sesión, lo cual puede ser riesgoso.
Puertos abiertos con servicios sensibles	Usando una herramienta llamada Nmap, se descubrió que el sitio tenía abiertos varios “puertos” (puertas digitales por donde viaja la información), como el 22, 80, 443 y 587. Si esos puertos no están bien protegidos, pueden ser usados por atacantes para obtener información o intentar ingresar al sistema.
Debilidad en la autenticación	No se encontró el uso de autenticación en dos pasos (como pedir un código al celular), ni otras protecciones extra.

Durante esta fase, se procedió a intentar la explotación de las vulnerabilidades identificadas en la etapa anterior, con el objetivo de evaluar su impacto real sobre la plataforma objetivo. No obstante, los intentos de explotación fueron infructuosos debido a mecanismos de protección activos implementados en el sistema, los cuales bloquearon o limitaron el accionar de las herramientas de prueba utilizadas.

esfuerzo y obtención de resultados manuales de exploración del sitio objetivo que, al contrario, sí indicaban la presencia de las líneas de código que podrían servir para extraer o buscar vectores de explotación.

Este tipo de situaciones apuntan a la existencia de mecanismos activos de protección tendentes a evitar el reconocimiento automatizado del entorno tecnológico: técnicas de anti-fingerprinting o, como en este caso, detección de las respuestas

Tabla 3. Resultados de la Fase de Explotación de Vulnerabilidades.

Fuente: Los autores.

Herramienta	Objetivo	Acción realizada	Resultado	Indicador de protección
WPScan	HTTPS (35.168.186.56)	Escaneo de WordPress (SSL)	Abortado por error de certificado SSL	Rechazo de conexión segura
WPScan	HTTP (35.168.186.56)	Escaneo de WordPress (sin SSL)	Se rechazó identificación de WordPress	Mecanismo anti-fingerprint activo
Metasploit	SMTP - Puerto 587	Ejecutar exploit sobre WordPress	Falló por timeout, puerto inaccesible	Firewall o política de bloqueo de puertos

En una primera fase de explotación se optó por llevar un análisis de vulnerabilidades de la instalación de WordPress usando la herramienta WPScan.

El escaneo se perdió en este momento, ya que el servicio dio errores debido a la validez del certificado SSL del sitio objetivo,

que se obtienen por medio de la interacción con el servidor. Este último tipo de técnicas suelen ser bastante extensivas en cuanto a su utilidad, pues permiten dificultar la tarea de las personas atacantes que intentan el mapeo automatizado de tecnologías empleadas en la plataforma que se quiere atacar, limitando la posibilidad de identificar distintos vectores de ataque.

La segunda actividad que se realizó consistió en preparar un entorno de pruebas sobre la plataforma de Metasploit a fin de iniciar ataques controlados sobre aquellos puertos 22 (SSH), 80 (HTTP), 443 (HTTPS) y 587 (SMTP) que ya habían sido identificados como activos en el reconocimiento del entorno de la instalación.

Al llevar a cabo dicha tarea, hubo un intento de conexión al puerto 587, pero el resultado fue que la conexión al puerto 587 resultó fallida (error tipo `Rex::ConnectionTimeout`); si esto es correcto, se debería estar indicando que el inicio del servicio SMTP que nuestro escáner pensaba consultar podría estar deshabilitado, bloqueado o simplemente protegido por políticas restrictivas de acceso, siempre con la sospecha de estar bajo el control de un firewall perimetral o mediante reglas de control de tráfico de conexión muy restringidas.

Si bien estas barreras limitaron la posibilidad de validar de manera directa el verdadero impacto de las vulnerabilidades observadas, también pusieron de manifiesto que la plataforma contaba con un cierto grado de madurez en relación a las medidas defensivas. Lejos de asimilar estas barreras como vallas técnicas que impedirían la explotación de las vulnerabilidades ya detectadas, estas deberían ser entendidas como reflejo de una cierta madurez tanto en su postura de seguridad activa como reactiva.

El hecho de que estas vulnerabilidades no puedan ser explotadas no significa de ninguna manera que estas no tengan condiciones de riesgo reales, sino que el sistema tiene controles de seguridad suficientemente vigorosos que permitirán una mitigación temporal del riesgo operativo, lo cual se traduce en la utilización de una determinada defensa en profundidad, donde múltiples capas de controles de protección (como controles perimetrales de cortafuegos, detección automática de actividad sospechosa, limitación de escaneos automatizados) permitirán poner en marcha múltiples controles de protección para reducir la superficie de ataque de la que se dispone desde el exterior.

Aun así, también es importante concienciar que estas defensas, aunque funcionen en base al rechazo o mitigación de riesgo en el corto plazo, no suplen la existencia de una corrección de las configuraciones inseguras de base o de mecanismos de autenticación débiles.

Sin embargo, en entornos de recursos limitados, mantener y mejorar estas defensas puede convertirse en una estrategia sencilla y efectiva para elevar el nivel de ciberseguridad general y reducir la probabilidad de ataques automatizados. Por tanto, aquellas defensas observadas son determinantes para comprender que la plataforma tiene una arquitectura reactiva de seguridad, que a pesar de no eliminar vulnerabilidades subyacentes, sí que reduce considerablemente la exposición a amenazas externas.

Ello pone de manifiesto que estrategias proactivas de la corrección y reactivas de contención deben cruzarse, cuando la priorización de la ciberseguridad es reducida.

Documentación y Reporte

Una vez que completamos el trabajo técnico de revisar todo, nos enfocamos en algo crucial: organizar y entender bien todo lo que descubrimos. No nos limitamos a tomar nota de los pasos que dimos, sino que buscamos entender a fondo dónde nuestros intentos de ataque no funcionaron y dónde el sistema demostró ser fuerte y resistió bien.

Documentamos cada cosa que descubrimos en cada paso técnico. Esto incluyó la información básica que recabamos (ver Anexo A.1), la revisión de ajustes de seguridad que no eran seguros y posibles puntos de acceso expuestos (ver Anexo A.2), y las pruebas que realizamos para intentar vulnerar el sistema (ver Anexo A.3).

Durante la primera fase, la exploración inicial, realizamos el descubrimiento de las URLs secundarias públicas y de los registros de internet gracias a los programas de consulta de información WHOIS y Nslookup, que nos ofrecieron una visión de la estructura del dominio (véase Anexo A.1.1).

También comprobamos cuáles eran los puertos abiertos y qué servicios potencialmente vulnerables estaban en funcionamiento (gracias también a Nmap, véase Anexo A.1.3), y Localizamos las distintas direcciones de correo electrónico con las que engañar a la gente (phishing, véase Anexo A.1.4).

Posteriormente, en el momento de analizar la información correspondiente a las debilidades (consúltese el Anexo A.2.1) comprobamos que había configuraciones de seguridad que estaban mal definidas, así como caminos que eran importantes y que eran visibles desde el exterior dado que era fácil acceder, por ejemplo, a él (consúltese el Anexo A.2.2).

En la etapa de intentar entrar al sistema (explotación, ver Anexo A.3), usamos una herramienta llamada WPScan para buscar fallos específicos en la instalación de WordPress.

Pero el escaneo se detuvo dos veces: la primera por un problema con el certificado de seguridad del sitio (SSL, ver Anexo A.3.1), y la segunda porque el servidor actuó como si WordPress no existiera, aunque nosotros habíamos confirmado que sí estaba ahí. Esto nos dice que probablemente tienen defensas activas contra el reconocimiento automático de su sistema.

Propuestas de mitigación

A continuación, se presenta las ideas que salieron de revisar la seguridad de la plataforma. Estas propuestas están pensadas para bajarle el perfil a los riesgos que encontramos durante la auditoría.

4. Conclusiones

La auditoría de seguridad llevó a descubrir configuraciones inseguras y mecanismos de autenticación deficientes en la plataforma sometida a auditoría.

Uno de los resultados más destacados fue la relación que hallamos entre la presencia de vulnerabilidades presentes y la



Tabla 4. Propuestas de mitigación para vulnerabilidades identificadas en la auditoría de seguridad.

Fuente: Los autores.

Vulnerabilidad	Propuesta
Cookies inseguras en la gestión de sesiones	Aconsejamos incluir el atributo HttpOnly con el fin de evitar que las cookies puedan llegar a ser leídas por scripts maliciosos. También debe permitirse que las cookies solo transporten el atributo Secure para ser transmitidas exclusivamente en conexiones cifradas (HTTPS). El atributo SameSite debe establecerse como Strict o Lax para que se detengan ataques CSRF. Por otro lado debe especificarse una caducidad clara y mecanismos de invalidación automática al cerrar sesión.
Puertos abiertos con servicios sensibles	Limitar el tráfico a través del puerto 22 - correspondiente a SSH- a solo aquellas solicitudes provenientes de direcciones IP consideradas como confiables. Utilizar autenticación basada en las claves públicas en vez de la que se basa en contraseñas, así como también cambiar el puerto por defecto. Habilitar o bien utilizar herramientas tales como Fail2Ban con la finalidad de prevenir ataques de fuerza bruta. Redirigir automáticamente el tráfico HTTP (puerto 80) hacia HTTPS (puerto 443) o configurar explícitamente su inutilización si el mismo no es necesario. Para el puerto 587 (SMTP), se recomienda implementar políticas de validación del correo tales como SPF (verifica que el correo se origina desde una IP autorizada), DKIM (añade una firma digital que permite comprobar que el contenido no ha sido modificado) y DMARC (indica como debe proceder la organización al recibir un mensaje que no ha pasado la validación de SPF o DKIM) para así reducir el riesgo de suplantación de identidad y de la llegada de correos no deseados.
Debilidad en la autenticación	Implementar autenticación multifactor (MFA) para agregar una capa extra de seguridad. Asegurarse de que los tokens de sesión no puedan reutilizarse y que expiren correctamente tras cierto tiempo o al cerrar sesión.

imposibilidad de explotarlas debido a controles defensivos en funcionamiento; esto es, a pesar de que la plataforma estudiada no cumple correctamente con las buenas prácticas de seguridad que marcos como OWASP dictan, sí que existen medidas reactivas suficientemente robustas como para ser un contendiente frente a tentativas de ciberataque desde el exterior.

Este hallazgo pone de manifiesto la necesidad de entender la ciberseguridad como un proceso fluido y evolutivo y no como una situación estática.

Una incorrecta puesta a punto estructural de ciertas debilidades puede ser en algún sentido subsanada temporalmente por capas suplementarias de defensa, tales como: firewalls perimetrales, políticas de acceso restrictivas, mecanismos anti-escaneo; pero con la posibilidad latente de que potencialmente estas vulnerabilidades pueden ser aprovechadas bajo diferentes condiciones, especialmente si los atacantes logran irrumpir en el perímetro interno o aplicar métodos de ingeniería social aventajados.

Desde un punto de vista científico, la investigación sirve a la validación empírica de metodologías ad hoc del marco OWASP en entornos reales de producción. Los resultados son indicativos de cómo las herramientas y fases del marco pueden ser utilizadas en la práctica real, hasta el punto de identificar riesgos incluso sobre aquellas plataformas con un nivel relativamente alto de protección.

Se aporta la idea de que, en esos escenarios, los mecanismos defensivos activos pueden actuar como mitigadores, en lugar de ceñirse estrictamente a estrategias preventivas fuertes por sí mismos.

Desde el punto de vista de la aplicabilidad práctica, los resultados son muy relevantes para aquellas organizaciones con recursos limitados, como por ejemplo: países en vías de desarrollo o sectores con poca inversión tecnológica; dado que en estos ámbitos insisto que la priorización de políticas reactivas —tales como: el monitoreo activo, el bloqueo de puertos sensibles y la detección de actividades sospechosas— puede llegar a ser una herramienta válida y económica para incrementar la ciberresiliencia.

El enfoque abordado en la investigación puede ser utilizado como un modelo replicable para aquellas instituciones que desean evaluar su propia exposición real sin comprometer la integridad operativa de sus sistemas.

Por último, más allá del análisis técnico propio, emerge una reflexión crítica: en un mundo donde la sofisticación y frecuencia de los ciberataques es creciente y exponencial, la verdadera fortaleza de una organización no reside únicamente en la infraestructura tecnológica que posee, sino en su capacidad de anticiparse ante el cambio, adaptarse ante el mismo, e incluso mantener una postura activa ante la amenaza cibernética.

Contribución de los autores.

Juan Andres Jaramillo Barreiro: Investigación, conceptualización, revisión y edición del artículo. **Joseph Camilo Reyes Sacaquirin:** Redacción-borrador, metodología, revisión y edición del artículo. **Nancy Magaly Loja Mora:** Revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores. declaran no tener ningún conflicto de interés.

Apéndice o Anexo

Anexo A. Informe detallado de evidencias obtenidas durante la auditoría

A.1 Recolección de Información

A.1.1 WHOIS y NSLOOKUP

Se realizó el análisis con Nslookup y Whois para la recuperación de la propiedad y la estructura del dominio, permitiendo así encontrar el proveedor, la dirección IP y unos datos de contacto asociados.

Resultado: Se detectó que el dominio estaba vinculado a la IP pública 35.168.186.56.

```
root@kali:~# whois [redacted].com
Domain Name: [redacted].COM
Registry Domain ID: 1993423 DOMAIN.COM-VRSN
Registrar WHOIS Server: whois.directnic.com
Registrar URL: http://www.directnic.com
Updated Date: 2024-10-06T02:07:39Z
Creation Date: 1997-07-21T04:00:00Z
Registry Expiry Date: 2025-07-20T04:00:00Z
Registrar: DNC Holdings, Inc.
Registrar IANA ID: 291
Registrar Abuse Contact Email: abuse@directnic.com
Registrar Abuse Contact Phone: +1.5043550081
Domain Status: clientDeleteProhibited https://icann.org/epp#clientDeleteProhibited
```

Figura 7. Búsqueda en WHOIS.

Fuente: Los autores.

A.1.2 Subdominios

```
C:\Windows\System32>nslookup [redacted].com
Servidor: dnsclt2.satnet.net
Address: 200.25.144.1

Respuesta no autoritativa:
Nombre: [redacted].com
Address: 35.168.186.56
```

Figura 8. Búsqueda en NSLOOKUP.

Fuente: Los autores.

Con la herramienta de búsqueda de Sublist3r se obtuvieron un número de subdominios públicos del principal, lo que permitió aumentar la superficie a la vista para su análisis.

A.1.3 Puertos y Servicios

Con Nmap, se realizó un escaneo de puertos en el servidor,



Figura 9. Resultados de SUBLIST3R.

Fuente: Los autores.

encontrando servicios activos expuestos al público:

A.1.4 Recolección de Correos Públicos

A través de herramientas como AnyMailFinder, se localizaron

```
Not shown: 996 filtered tcp ports (no-response)
PORT      STATE SERVICE VERSION
22/tcp    open  ssh      OpenSSH 8.4p1 Debian 5+deb11u3 (protocol 2.0)
80/tcp    open  http     Apache/2.4.18 (Ubuntu)
443/tcp   open  ssl/http Apache/2.4.18 (Ubuntu)
587/tcp   open  smtp     Microsoft Exchange
Service Info: OS: Linux; CPE: cpe:/o:linux:linux_kernel
```

Figura 10. Resultados de NMAP.

Fuente: Los autores.

correos electrónicos pertenecientes al dominio objetivo, lo que podría usarse en ataques dirigidos como phishing o ingeniería social.

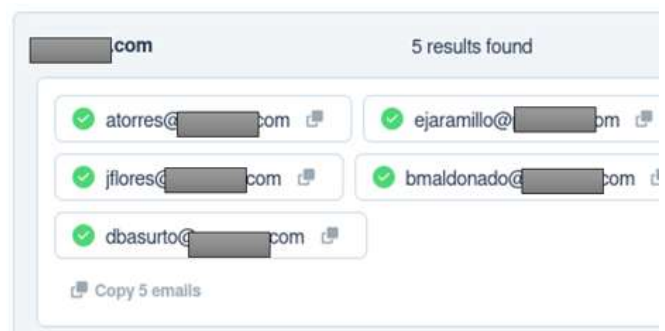


Figura 11. Resultados de ANYMAILFINDER.

Fuente: Los autores.

A.2 Análisis de Vulnerabilidades

A.2.1 Configuraciones inseguras del servidor





Domain	Path	Expires / Max-Age	Size	HttpOnly	Secure	SameSite	Last Accessed
career4.successfactors.com	/	Session	119	false	true	None	Thu, 20 Mar 2025 15:55:56 GMT
career4.successfactors.com	/	Session	31	true	true	Strict	Thu, 20 Mar 2025 15:56:09 GMT
career4.successfactors.com	/	Session	55	true	true	None	Thu, 20 Mar 2025 15:55:56 GMT
career4.successfactors.com	/	Session	45	true	true	None	Thu, 20 Mar 2025 15:55:56 GMT

Figura 12. Cookies del sitio web.

Fuente: Los autores.

En esta fase se revisaron la seguridad de las cookies.

A.2.2 Rutas interesantes

Con Hackertarget, se analizaron rutas expuestas e información sensible potencial, útil para ataques posteriores si no están bien protegidas.



Figura 13. Resultados de HACKERTARGET.

Fuente: Los autores.

A.3 Explotación de Vulnerabilidades

A.3.1 Intento de escaneo con WPScan

El primer intento con WPScan fue bloqueado por un error con el certificado SSL.

Mensaje: “El escaneo fue abortado debido a un problema con el certificado SSL del sitio objetivo (https://35.168.186.56).”

El segundo intento, usando HTTP, fue rechazado porque WPScan no logró reconocer WordPress, a pesar de que sí estaba instalado.



Figura 14. Resultado del Primer intento con WPSCAN.

Fuente: Los autores.

El sitio cuenta con protección activa contra fingerprinting o escaneos automáticos.

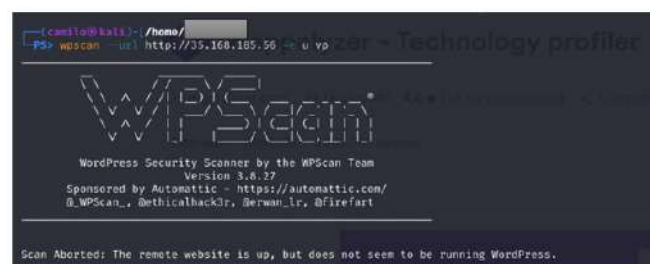


Figura 15. Resultado del segundo intento de WPSCAN.

Fuente: Los autores.

Referencias bibliográficas

Altamirano, C. W. F., Freire, M., Yamba Yugsi, M., & Ureta Arreaga, L. A. (2024). Prevención de ataques ransomware en entidades públicas y privadas en el Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 9(8), 2710–2723. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i8.7850102>

- Ávila Niño, F. Y. (2023). Ransomware, una amenaza latente en Latinoamérica. *InterSedes*, 24. <https://doi.org/10.15517/isucr.v24i49>
- Bermúdez-Bermúdez, Y. A. (2024). El principio de proporcionalidad como límite de los ciberataques en los conflictos armados internacionales. En Problemas abiertos en torno al principio de proporcionalidad: un análisis desde el DIDH y el DIH (pp. 141–160). Escuela Militar de Cadetes General Jose María Córdova.
- Broncano, M. P. E., & Ávila Pesantez, D. F. (2021). Ciberseguridad en los sistemas de gestión de aprendizaje (LMS). *Ecuadorian Science Journal*, 5(1), 46–54. <https://doi.org/10.46480/ESJ.5.1.98>
- Escobar Ávila, M. E., & Rojas Amado, J. C. (2021). Beneficios del uso de tecnologías digitales en la auditoría externa: una revisión de la literatura. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 29(2), 45–65. <https://doi.org/10.18359/rfce.5170>
- García-Rojas, J., Vargas-Vega, T. J., Rodríguez-Aguilar, R., & Landeros-Valenzuela, K. (2023). Tecnología educativa de blockchain para prevenir ciberataques en ITSOEH. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(2–1), 136–152. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.2-1.1702>
- Guaña-Moya, J., Sánchez-Zumba, A., Chérrez-Vintimilla, P., Chulde-Obando, L., Jaramillo-Flores, P., & Pillajo-Rea, C. (2022). Ataques informáticos más comunes en el mundo digitalizado. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, 87–100.
- He, Y., Zamani, E., Yevseyeva, I., & Luo, C. (2023). Artificial intelligence-based ethical hacking for health information systems: Simulation study. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e41748. <https://doi.org/10.2196/41748>
- Muñoz, A. B. (2024). Educar y proteger: análisis de la educación en ciberseguridad para combatir la ciberdelincuencia. *Education & Law Review / Revista de Educación y Derecho*, (30), 1–22. <https://doi.org/10.1344/REYD2024.30.44082>
- Nagata Bolivar, T., Alemán Delgado, M. S., Toro Flores, Y. A., & Rivas Almonte, F. U. (2021). Análisis y optimización del proceso de validación de ataques de secuencia de comandos en sitios cruzados (XSS) empleando Burp Suite para evadir medidas de seguridad. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, 414–432.
- Ontiveros, J. M. B., Bailón Estrada, M., Flores Regalado, A., Benítez Guadarrama, J. P., & Cervantes Cardenas, S. A. (2024). Detecciones de vulnerabilidades web a través de la evaluación de pruebas de penetración. *Revista NeyArt*, 2(2), 46–63. <https://doi.org/10.61273/NEYART.V2I2.49>
- Ospina Díaz, M. R., & Sanabria Rangel, P. E. (2024). Desafíos nacionales frente a la ciberseguridad en el escenario global: un análisis para Colombia. *Revista Criminalidad*, 62, 199–217.
- Pérez, S. B. (2022). Moral hazard situations and misaligned incentives in cybersecurity. *Revista Chilena de Derecho y Tecnología*, 11(2), 103–120. <https://doi.org/10.5354/0719-2584.2022.60821>
- Reyes, D. G., González Brito, H. R., Zulueta Veliz, Y., & Fernández Pérez, Y. (2023). Técnicas de aprendizaje automático para la detección y prevención de amenazas de ciberseguridad. Proyecciones futuras. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 17, 15–27.
- Rivera, Y., Pinto Mangone, A. D., Castaño, S., Torres Tovio, J. M., Ibarra Hernández, F., & Guevara, P. (2022). Análisis bibliométrico sobre ciberseguridad: técnica de ataque de suplantación de identidad y evolución. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, 21–35.
- Supriadi, D., Suryadi, E., Muslim, R., Samsumar, L. D., & Universitas Teknologi Mataram. (2024). Implementasi vulnerability assessment OWASP (Open Web Application Security Project) pada website Universitas Teknologi Mataram. *Journal of Data Analytics, Information, and Computer Science*, 1(4), 232–240. <https://doi.org/10.70248/JDAICS.V1I4.1368>
- Uceda, M. A. S., Varas Zurita, P. L., & Mendoza De Los Santos, A. C. (2024). Análisis de seguridad de bases de datos: Estrategias para la protección de datos. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1), 90–103. <https://doi.org/10.26495/KZ3KYZ70>
- Vanegas Pineda, M., & Ávila Quiceno, A. M. (2023). Análisis de herramientas de ciberseguridad de código abierto para la prevención de ciberataques a pequeñas y medianas empresas en Colombia. *Revista CIES*, 14, 221–241.
- Zambrano Rendón, A. D. (2024). Impacto de la inteligencia artificial en los ciberataques. *Revista Científica Sinapsis*, 24(1), 2024–2030. <https://doi.org/10.37117/S.V24I1.895>