

e-ISSN 2550-6730



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
MANABÍ
Fundada en 1952

10
VOLUMEN
Núm. 1



ENERO - JUNIO 2026

ECUADOR

This cover has been designed using assets from Freepik.com

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, Ph. D.

CONSEJO EDITORIAL (EDITORIAL BOARD)

Director de la Revista


(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


 Lucía 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

 Javier Cuzco Torres, Ph. D.

 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

CONSEJO DE REVISORES (REVIEWERS BOARD)


-  Ph.D. Lorenzo Jovanny Cevallos Torres
 Universidad de Guayaquil, Ecuador
-  Ph.D. Jaime Meza Hormaza
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
-  Ms.C. Alcibar Yánez Escobar
 Universidad de Málaga, España
-  Ph.D. Alex Santamaría Philco
 Universitat Politècnica de València, España
-  Ph.D. Marlon Navia Mendoza
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
-  Ms. C. Wilmer Moreira Sánchez
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
-  Ph.D. Manuel Eugenio Morocho-Cayamcela
 Universidad Yachay Tech, Ecuador
-  Ms. C. Enrique Macias Arias
 Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
-  Ms.C. Pinto Erazo Alejandra Mabel
 Universidad Técnica del Norte, Ecuador
-  Ms.C. Alex Mendoza Arteaga
 Eca-IT, Ecuador
-  Ms.C. Miryan Narváz Vilema
 Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador

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. Victor 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 10, Número 1
Enero – Junio 2026
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)



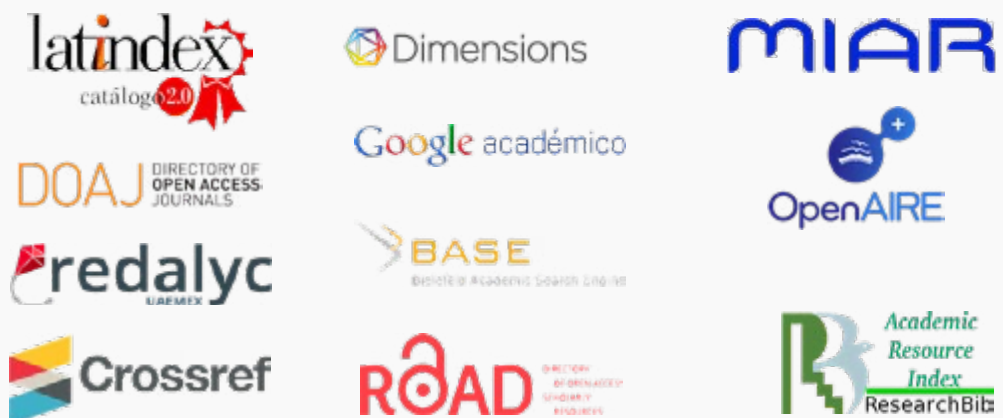
Los autores de ISRTIC usan un Identificador Abierto de Investigador y Colaborador (ORCID)



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.v10i1>

EDITORIAL

Lectoras/es,

El presente número inaugura el **volumen 10** de Informática y Sistemas, una cifra que representa **una década de trabajo editorial sostenido y que invita a mirar con satisfacción el camino recorrido**. Lo que comenzó como un esfuerzo por dar voz a la producción científica regional se ha consolidado hoy en un espacio consultado, indexado en plataformas de referencia como Redalyc, DOAJ, Latindex, Dialnet y Crossref, y con indicadores editoriales que reflejan madurez: durante 2025 la revista alcanzó una **tasa de aceptación del 42%**, resultado de un proceso de evaluación cada vez más riguroso y de una comunidad de autores que confía en este medio para difundir sus hallazgos. Agradecemos a investigadores, evaluadores y equipos institucionales cuyo compromiso constante ha hecho posible este recorrido.

Los artículos que integran este número reflejan la diversidad y la vigencia de las líneas de investigación que hoy definen a la ingeniería y las ciencias computacionales en el contexto Ecuatoriano. Sus aportes recorren campos que van desde la preservación del patrimonio cultural mediante tecnologías inmersivas hasta la seguridad de los sistemas de información, evidenciando la capacidad del conocimiento técnico para dialogar con problemáticas sociales, educativas y productivas concretas.

El volumen abre con dos propuestas centradas en la realidad aumentada: una dedicada a la transformación tecnológica del patrimonio festivo, a partir del Pase del Niño Rey de Reyes de Riobamba, y otra que aplica el enfoque de Design Thinking al diseño de un entorno interactivo para la enseñanza de la Química. El recorrido continúa con una contribución sobre análisis y detección de malware en dispositivos Android mediante técnicas de ingeniería inversa, seguida de una revisión sistemática sobre el papel de la inteligencia artificial en los sistemas ADAS y los vehículos autónomos. La reflexión educativa se profundiza con una revisión sistemática sobre el aprendizaje inteligente aplicado a la programación. El número incorpora, además, un algoritmo híbrido mendeliano bayesiano para la inferencia probabilística de genotipos en pedigríes, una propuesta de arquitectura hexagonal y microservicios para la digitalización de procesos administrativos en el sector público, y cierra con un caso de estudio sobre el análisis de vulnerabilidades en sistemas web públicos del Ecuador bajo el estándar OWASP API Security Top 10:2023.

Estas contribuciones dan cuenta de la vitalidad investigativa de las instituciones participantes y de su capacidad para generar conocimiento pertinente, con anclaje territorial y proyección internacional. En conjunto, reafirman el propósito de esta edición de fortalecer un ecosistema académico más articulado, visible y comprometido con la transferencia de resultados hacia la sociedad.

Al cumplir diez volúmenes, **renovamos la invitación a la comunidad científica** a seguir nutriendo este espacio editorial con investigaciones de calidad que impulsen el avance científico y tecnológico en beneficio de la región y de sus habitantes.

Atentamente,

Jorge Párraga Álava, Ph.D.

Editor en Jefe

Informática y Sistemas:

Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones

ÍNDICE

Edison Amador Miguez Gordillo, Cynthia Carolina Mena Mena,
Manuel David Isín Vilema

1-13

Transformación Tecnológica del Patrimonio Festivo mediante Realidad Aumentada: el Pase del Niño Rey de Reyes de Riobamba, Ecuador

Technological Transformation of Festive Heritage through Augmented Reality: the 'Pase del Niño Rey de Reyes' of Riobamba, Ecuador

Manuel David Isín Vilema , Leonardo Josue Guevara Alvarez,
Bryan Alexander Pumaquero Cayambe

14-23

Aplicación de Design Thinking en el diseño de un entorno interactivo de Química con Realidad Aumentada

Application of Design Thinking in the design of an interactive Chemistry environment with Augmented Reality

Anthony Alexander Contreras Espinoza, Joofre Antonio Honores
Tapia, Milton Rafael Valarezo Pardo, Tania Yesminia Contreras
Alonso

24-39

Análisis y Detección de Malware en Dispositivos Android versión 15 mediante Técnicas de Ingeniería Inversa

Malware Analysis and Detection in Android 15 Devices through Reverse Engineering Techniques

José Andrés Murillo Velez, Roberth Abel Alcívar Cevallos

40-50

La Inteligencia Artificial para ADAS y Vehículos Autónomos. Una revisión Sistemática

Artificial Intelligence for ADAS and Autonomous Vehicles: A Systematic Review

Edison Amador Miguez Gordillo, Patricio Ricardo Humanante
Ramos

51-68

El aprendizaje inteligente en la programación: una revisión sistemática de la literatura

Smart learning in programming: a systematic literature review

Alexander Stefano Mora Matamoros, Javier Hernán López-Zambrano, Carlos Octavio Larrea-Izurieta, Diego Alexander Toala Palma

69-78

Algoritmo Híbrido Mendeliano–Bayesiano para la Inferencia Probabilística de Genotipos en Pedigrees

Hybrid Mendelian–Bayesian Algorithm for Probabilistic Inference of Genotypes in Pedigrees

Britney Paulette Tenecela Tocto, Kevin Joel Zuñiga Iñiguez, Bertha Mazón Olivo, Damar Alejandra Taylor Vivanco

79-97

Arquitectura Hexagonal y Microservicios para la Digitalización de Procesos Administrativos en una Institución Pública: Caso de Gestión de Vacaciones y Permisos

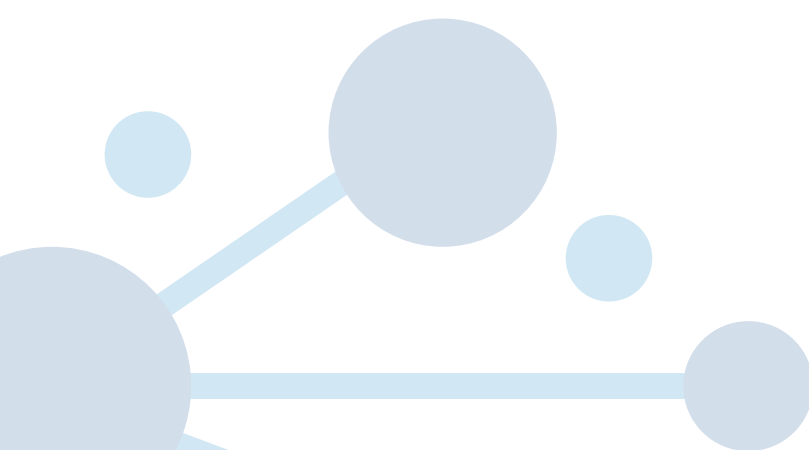
Hexagonal Architecture and Microservice for the Digitalization of Administrative Processes in a Public Institution: Case of Vacation and Leave Management

Jaime Rubén Borja Ulloa, Rodrigo Cadena Martínez

98-109

Análisis de Vulnerabilidades en Sistemas Web Públicos de Ecuador bajo OWASP API Security Top 10:2023: Un Caso de Estudio

Vulnerability Analysis in Public Web Systems of Ecuador under OWASP API Security Top 10:2023: A Case Study





Transformación Tecnológica del Patrimonio Festivo mediante Realidad Aumentada: el Pase del Niño Rey de Reyes de Riobamba, Ecuador

Technological Transformation of Festive Heritage through Augmented Reality: the 'Pase del Niño Rey de Reyes' of Riobamba, Ecuador

Autores

* Edison Amador Miguez Gordillo 

✉ edison.miguez@unach.edu.ec

Cynthia Carolina Mena Mena 

✉ cynthia.mena@unach.edu.ec

Manuel David Isín Vilema 

✉ misin@unach.edu.ec

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

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Miguez Gordillo, E.A., Mena Mena, C.C. & Isín Vilema, M.D. (2026). Transformación Tecnológica del Patrimonio Festivo mediante Realidad Aumentada: el Pase del Niño Rey de Reyes de Riobamba, Ecuador. *Informática y Sistemas*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.7847>

Enviado: 12/09/2025

Aceptado: 18/11/2025

Publicado: 01/01/2026

Resumen

El estudio analiza la incorporación de la Realidad Aumentada (RA) como recurso tecnológico para la preservación y la proyección del patrimonio cultural inmaterial, tomando como caso la festividad del Pase del Niño Rey de Reyes en Riobamba, Ecuador. El propósito fue diseñar y evaluar la usabilidad de la aplicación TradiRey, orientada a fortalecer la memoria colectiva y la identidad cultural mediante experiencias interactivas. La investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de carácter descriptivo, utilizando la metodología ágil Scrum. La muestra estuvo conformada por 150 participantes, entre docentes y estudiantes de la Universidad Nacional de Chimborazo, quienes respondieron encuestas pos-test. Los resultados mostraron una valoración mayoritariamente positiva, destacando la facilidad de uso, la estabilidad de las animaciones y la coherencia estética de la interfaz. No obstante, se señalaron limitaciones en el tiempo de inicio y en la carga de actividades interactivas. Se concluye que es viable el uso de la tecnología en el proceso de transformación del patrimonio festivo del "Pase del Niño Rey de Reyes" de la ciudad de Riobamba.

Palabras clave: Realidad aumentada; patrimonio cultural inmaterial; scrum; preservar; interactividad.

Abstract

This study explores the incorporation of Augmented Reality (AR) as a technological resource for the preservation and promotion of intangible cultural heritage, using the Pase del Niño Rey de Reyes festivity in Riobamba, Ecuador, as a case study. The main objective was to design and evaluate the usability of the TradiRey application, developed to strengthen collective memory and cultural identity through interactive and participatory experiences. The research adopted a quantitative approach and a non-experimental descriptive design, applying the agile Scrum methodology during the development process. The sample comprised 150 participants, including lecturers and students from the National University of Chimborazo, who completed post-test surveys to assess usability. Results revealed a predominantly positive evaluation, emphasizing the application's ease of use, animation stability, and aesthetic coherence of the interface. Minor limitations were observed in the start-up time and the loading of interactive activities. The findings demonstrate that the use of technology is viable and effective in the transformation and digital enhancement of the festive heritage of the Pase del Niño Rey de Reyes in Riobamba.

Keywords: Augmented reality; intangible cultural heritage; scrum; preserve; interactivity.



1. Introduction

El patrimonio festivo se puede definir como el conjunto de tradiciones, celebraciones vivas, entre otras, que en unión son parte de la identidad de un pueblo o lugar determinado, estas prácticas fortalecen los lazos comunitarios y difunden la riqueza simbólica de cada uno de los pueblos, en este contexto, la tecnología como, modelado 3D, sistemas basados en realidad virtual o realidad aumentada, material generado con inteligencia artificial generativa, y app's, han ayudado a preservar y difundirlo con carácter diferente y transformador en contraste con métodos y medios tradicionales.

En América Latina, investigaciones como las de: Mortara et al. (2021), demostraron que aplicaciones móviles de RA ajustadas con geolocalización mejoran el aprendizaje sobre patrimonio cultural durante recorridos guiados en Medellín, Colombia, manifestando una eficacia educativa comprobada mediante diseño experimental con grupos de control, en la última década, la Realidad Aumentada ha demostrado ser medio para la difusión y la enseñanza del patrimonio cultural, al superponer información digital en entornos físicos y favorecer experiencias inmersivas.

En el ámbito ecuatoriano, Gallo et al. (2024) indican que la realidad aumentada “mejoran la experiencia in situ” al proporcionar información interactiva que ayuda a entender de manera inmediata el contenido cultural. Del mismo modo, Silva et al. (2023) muestran que integrar actividades participativas en aplicaciones de realidad aumentada, incrementa el interés de los turistas y su sensación de inmersión. Bravo et al. (2024) a través de su estudio de difusión de piezas cerámicas de la cultura PURUHÁ a través de realidad aumentada, informan que la integración con aspectos técnicos de la cultura es un factor de difusión coherente y emergente, permitiendo llegar a nuevas generaciones.

Teniendo en cuenta estos aspectos se ha identificado un vacío científico tanto en literatura como en proyectos tecnológicos que tengan como eje la festividad de “El Pase del Niño Rey de Reyes”, de la ciudad de Riobamba, cuya celebración religiosa es emblema de esta localidad, a raíz de esta problemática surge la siguiente pregunta de investigación; ¿Puede la tecnología aportar a la preservación y a la transformación de la festividad del Pase del Niño? Para responder a esta inquietud, El presente trabajo tuvo como objetivos; desarrollar y evaluar una aplicación de realidad aumentada, que integro recursos narrativos, visuales y tridimensionales, con relación a esta festividad.

El artículo se organiza en las siguientes secciones: introducción, fundamentación teórica, materiales y métodos, resultados y discusión, y por ultimo las conclusiones, donde se exponen los principales aportes y proyecciones del estudio.

1.1 Fundamentación teórica

Realidad Aumentada y Patrimonio Cultural

La realidad aumentada se puede conceptualizar como tecnología que superpone elementos virtuales en el plano real, a lo largo del tiempo ha experimentado integraciones en los diferentes campos como lo son; el industrial, educativo, salud entre otros (Ortiz et al., 2024). El resultado de esta integración ha permitido que la realidad aumentada se vuelva un recurso transversal que ayuda a mejorar la experiencia del usuario.

Más allá de su función divulgativa, la realidad aumentada, se transforma en un medio para conservar el patrimonio cultural inmaterial, dado que permite digitalizar prácticas y representaciones colectivas, asegurando su permanencia frente a los cambios sociales contemporáneos. Lapo-Lapo et al. (2025) evidencian este alcance, mediante un proyecto aplicado a la parroquia La Victoria, en Pujilí, donde se desarrolló una aplicación educativa de RA para registrar y difundir la producción artesanal. Se debe entender que, la realidad aumentada, ya no se limita a su dimensión tecnológica; se transforma en un agente que reconstruye la experiencia patrimonial y permite el diálogo entre generaciones, lo cual ha abierto caminos para asumirla como herramienta transversal en el ámbito cultural, abarcando no solo la apreciación del patrimonio, sino también diferentes contextos arquitectónicos y aún más las tradiciones vivas.

Pase del niño rey de reyes de Riobamba, Ecuador

La ciudad de Riobamba, conocida como “Sultana de los Andes”, celebra el Pase del Niño Rey de Reyes, tradición que trasciende lo religioso y refuerza la identidad local (Ecuador Travel, 2024). Iniciado en 1903 por Xavier Mendoza como devoción familiar, ha perdurado por cinco generaciones. Originalmente un acto íntimo, hoy cuenta con el apoyo de instituciones públicas y privadas, como la Brigada Blindada Galápagos. La festividad comienza el 5 de enero con la última novena, una eucaristía y procesión nocturna con antorchas. El evento continúa con actividades artísticas y fuegos pirotécnicos. El 6 de enero se realiza el “albazo”, un despertar musical con banda de pueblo. Posteriormente se efectúa el Pase del Niño desde el Oratorio hasta la Iglesia de San Antonio de Padua en la Loma de Quito. La celebración concluye con una misa y el retorno al Santuario del Niño en Santa Rosa (Goraymi, 2024).

Esta tradición no solo es una expresión de fe, sino también una manifestación comunitaria que fortalece los lazos vecinales y familiares: los priostes, jochantes, guashayos y custodios participan activamente con ofrendas, comparsas, música y vestimenta, conformando así una memoria colectiva que ha sido reconocida como Patrimonio Cultural Inmaterial local en 2017 y certificado como Patrimonio Cultural del Ecuador en 2018 (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2023).

Oñate (2022), desarrolló un plan de salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial vinculado al Pase del Niño del cantón Riobamba, con el propósito de incluir esta manifestación en la lista representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial (PCI). También indica que, si bien la mayoría de las expresiones culturales se mantienen vigentes, algunas se encuentran en estado vulnerable, lo que refuerza la necesidad de implementar acciones concretas para proteger esta tradición como elemento definitorio de la identidad cultural riobambeña.

Tecnologías usadas como medio para la Representación Digital

Dentro de la gama de tecnologías emergentes, se concibe el uso de la inteligencia artificial generativa, para generar modelos 2D de cualquier interpretación simbólica mediante el uso de prompt, e igual la utilización de Blender para transformar este resultado a un modelo 3D. La fusión de estos dos nos ayuda a, representar elementos culturales con mayor eficacia y eficiencia, permitiendo el ahorro de recursos.

Shivottam y Mishra (2023) indican que el uso de estas plataformas automatizadas permite crear modelos 3D de lugares patrimoniales a partir de imágenes recolectados por usuarios de la comunidad, estos demuestran que el uso de la inteligencia artificial y el modelado 3D fomentan y ponen al alcance de cualquier persona o institución la preservación patrimonial, ahora la injerencia de la realidad aumentada, complementa la experiencia interactiva y educativa, esto se respalda con la evidencia del estudio de Zhang y Liu (2024) que manifiestan que, al usar realidad aumentada en museos se genera la visualización de modelos 3D detallados en entornos reales, facilitando la comprensión y la enseñanza del patrimonio cultural de manera accesible y atractiva.

Metodología Scrum y Evaluación de Usabilidad

La adopción de la metodología ágil Scrum en el desarrollo de software permite fomentar un enfoque colaborativo y flexible en la gestión de proyectos. De hecho, ciertos estudios, indican que la implementación de Scrum facilita la adaptación rápida a cambios y la entrega continua de valor, lo cual resulta eficaz en entornos dinámicos y con alta incertidumbre (Lee & Chen, 2023). Del mismo modo, la evaluación de la usabilidad post-test ayuda a medir la efectividad de las aplicaciones desde la perspectiva del usuario, ya que mediante los resultados obtenidos se identifican áreas de mejora y optimización, garantizando que las aplicaciones cumplan con sus objetivos de manera efectiva (Vlachogianni & Tselios, 2023). Fusionar, Scrum con evaluaciones de usabilidad

post-test mejora el proceso de desarrollo de software, esta integración favorece la creación de soluciones tecnológicas que son tanto funcionales como alineadas con las expectativas y necesidades de los usuarios.

2. Materiales y Métodos

2.1 Lugar, diseño y enfoque

La investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias de la Educación, Humanas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Chimborazo de la ciudad de Riobamba-Ecuador, durante el período abril-julio de 2025. Se adoptó un diseño no experimental y descriptivo, con enfoque cuantitativo, así como lo menciona (Luna López et al., 2024) es común en investigaciones de tecnología educativa inmersiva, para evaluar la experiencia de usuario en aplicaciones de R-A, orientado a valorar la percepción de los usuarios frente a la aplicación de RA desarrollada.

2.2 Participantes

Se optó por el muestreo intencional ya que los participantes estaban disponibles y accesibles, y además podían aportar información relevante para el desarrollo del análisis (Tajik, Golzar, & Noor, 2024). Estuvo conformada por 150 participantes: 78 hombres y 72 mujeres, con edades entre 18 y 45 años, en su mayoría de nacionalidad ecuatoriana. Se consideró este grupo por su accesibilidad y por el aporte que podían brindar a la validación del prototipo.

2.3 Instrumento

Como instrumento se utilizó una encuesta digital pos-test, diseñada en Google Forms y validada por juicio de experto. Esta permitió recoger impresiones inmediatas sobre la usabilidad, la facilidad de navegación, la estabilidad de las animaciones y la satisfacción general de los usuarios. De acuerdo con Yáñez et al. (2024), esta técnica es adecuada para capturar impresiones inmediatas que reflejan el desempeño real de la aplicación en condiciones de uso cotidiano.

3. Resultados y Discusión

Para mejor entendimiento se ha dividido los resultados en dos aspectos, desarrollo de la app y resultado de la encuesta post test, a continuación, se detalla de la siguiente forma:

3.1 Desarrollo de la App

Para el desarrollo de este proyecto de software se usó la metodología Scrum, la cual se sustenta en un ciclo iterativo e incremental que articula fases denominadas Sprint cuales promueven la entrega continua de valor constantes, así como la transparencia, la inspección y la adaptación del proceso para responder eficazmente a los cambios (Sotelo-Martín, 2023). Se debe entender que esta metodología ágil propone el desarrollo de proyecto manera eficaz, lo cual ha sido favorable ya que se ha dividido los Sprint para su elaboración como se muestra en la figura 1:



3.1.1 Sprint 1: Fase inicial

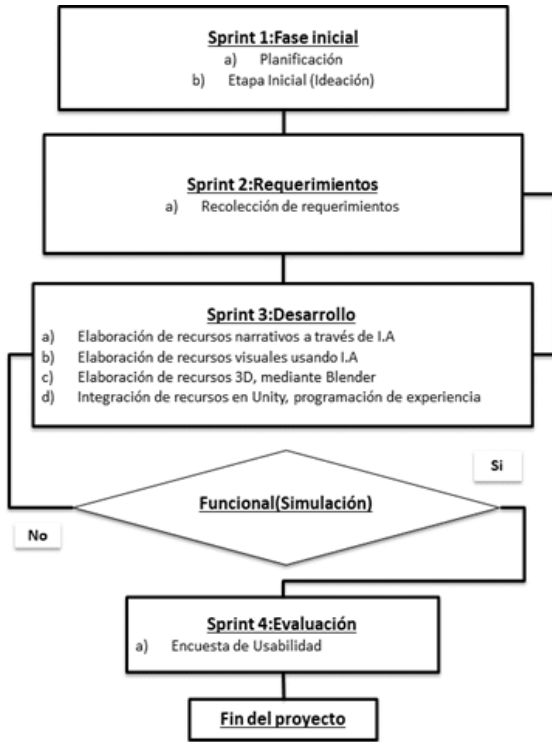


Figura 1. Sprints propuestos para el desarrollo del proyecto.
 Fuente: Los autores.

3.1.1.1 Planificación

En esta etapa se realiza una planificación sobre cómo se desarrollará el proyecto, abarcando fases como tiempo, se usó el diagrama de Gantt para representarla las dimensiones descritas, se lo muestra a continuación en la figura 2.

3.1.1.2 Ideación

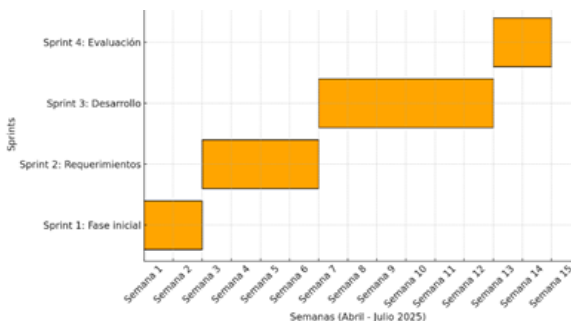


Figura 2. Diagrama de Gantt sobre la planificación del proyecto.
 Fuente: Los autores.

Se realiza una búsqueda de estudios o aplicaciones en la web, el resultado de esto se muestra en la tabla 1.

Tras el breve análisis de las apps y proyectos se decidió trabajar

Tabla 1. Estudios/app's, encontrados.
 Fuente: Los autores.

Ubicación	Autores	Aplicación/ Proyecto	Descripción breve
Ecuador	Sánchez & Pérez	Patrimonio Vivo AR	Experiencias inmersivas en eventos culturales
Ecuador	Bravo Cedeño & Míguez Gordillo et al.	App Rikkuna (Realidad Aumentada Puruhá)	Difusión y preservación de piezas cerámicas con realidad aumentada
México	García & López	ARTFest	Realidad aumentada para festivales culturales
Perú	Martínez & Torres	FiestaAR	Realidad aumentada en festividades tradicionales
Italia	Bianchi & Rossi	Heritage AR	Reconstrucción digital de patrimonios festivos

sobre la festividad del pase del niño del rey de reyes, ya que no se encontraron trabajos previos sobre este tema, y se decidió usar la realidad aumentada como base principal para la elaboración del producto.

3.1.2. Sprint 2: Requerimientos

3.1.2.1 Recolección de requerimientos

En esta fase se recopilaron las necesidades funcionales y no funcionales que debía satisfacer la aplicación R-A. Para ello se aplicaron encuestas de preferencias. Los datos obtenidos fueron organizados por categorías ver Tabla 2. Estos requerimientos se tomaron como prioridad para las características de la versión del prototipo. Esta tabla sirvió como insumo para definir la arquitectura de la app, las pantallas principales, las interacciones RA y los niveles de acceso. Según Aydin y Silahtaroglu (2024), el análisis de datos del mercado proporciona información sobre las características que atraen a los usuarios, lo que facilita el diseño de aplicaciones ajustadas a las necesidades del público objetivo. Esta información permite obtener los requerimientos necesarios para el desarrollo de la experiencia en Realidad aumentada.

3.1.3 Sprint 3: Desarrollo

3.1.3.1 Elaboración de recursos narrativos a través de I.A

Se usó inteligencia artificial generativa para la elaboración del guion narrativo del juego como se evidencia en la figura

Tabla 2. Preferencias de los usuarios.

Fuente: Los autores.

Categoría	Preferencias de los usuarios
Diseño	Identidad cultural reflejada con esquemas de colores andinos y colores institucionales de Riobamba; interfaz visualmente atractiva con ilustraciones, iconos y elementos 3D interactivos; navegación intuitiva con pestañas, botones grandes y menús.
Funcionalidades	Integración de realidad aumentada (RA) para experiencias inmersivas; inclusión de niveles y retos para juego educativo; uso durante festividades del Pase del Niño y en espacios educativos y recreativos.
Contenido	Contenido auténtico, fácil de comprender y representativo de valores culturales (tradición, comunidad, fe); importancia de rescatar y reforzar aspectos culturales durante el Pase del Niño; nombre preferido “TradiRey” que conecta con sentido cultural y patrimonial del evento.

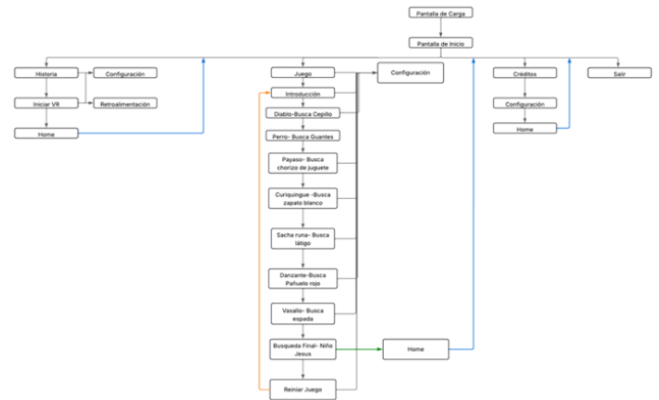


Figura 4. Mapa de navegación.

Fuente: Los autores.

la cultura Puruhá, como se observa en la Figura 7. El uso de íconos de acceso libre de la plataforma FlatIcon (véase Figura 8) complementó el diseño visual de la aplicación.



Figura 5. Elaboración de la marca TradiRey, usando Photoshop.

Fuente: Los autores.

3, esta tecnología, agiliza la ideación y facilita la generación de prototipos narrativos, aunque también plantea retos sobre la originalidad y la dependencia del contenido generado por máquinas. En particular, los gestores narrativos basados en IA permiten generar narrativas dinámicas y adaptativas en juegos, aunque los guionistas humanos siguen siendo esenciales para dar profundidad emocional y estructura coherente a las historias (Al-Harathi, 2025).



Figura 3. Prompt para la creación del guion de la aplicación R-A para “el Pase del Niño Rey de Reyes “.

Fuente: Los autores.

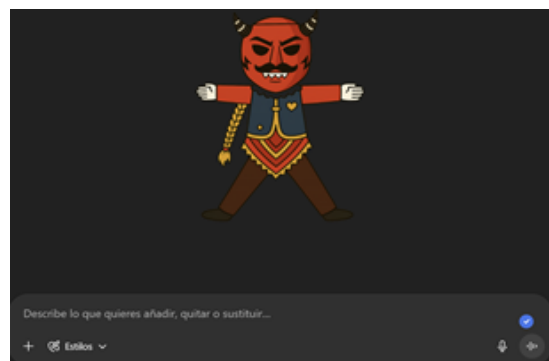


Figura 6. Reinterpretación de los personajes con ChatGPT.

Fuente: Los autores.

3.1.3.2 Elaboración de recursos visuales usando IA

Una vez completado el guion narrativo, se procede a desarrollar el mapa de navegación (véase Figura 4), el cual define la estructura jerárquica y lógica de la aplicación, el cual permite representar de forma visual la organización de contenidos y el flujo de interacción entre las diferentes secciones de la app. De esta manera, se facilita la comprensión del recorrido del usuario y se va optimizando en medida que el Sprint avanza.

Como se evidencio en la tabla 2, la elección de los participantes fue denominar la aplicación “TradiRey”. Se procedió a su creación en Photoshop, como se muestra en la Figura 5. También se reinterpretaron imágenes de los personajes propios de esta festividad mediante inteligencia artificial véase Figura 6. Además, se generaron texturas inspiradas en la memoria iconográfica de

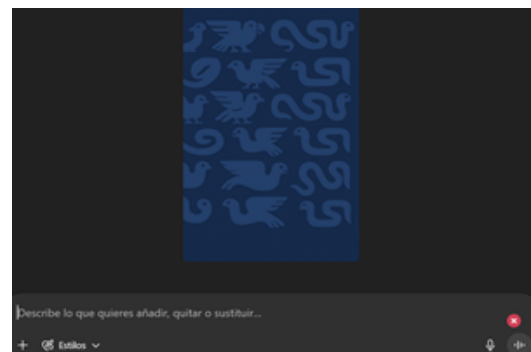


Figura 7. Generación de texturas para la implantación en la aplicación móvil TradiRey.

Fuente: Los autores.

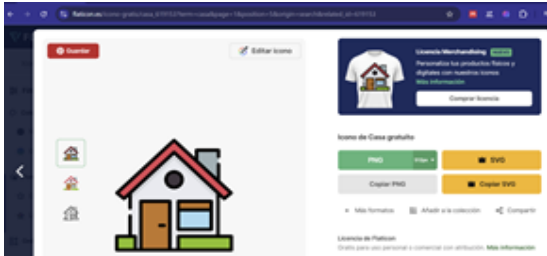


Figura 8. Iconos del sitio web FlatIcon
Fuente: Los autores.

Posteriormente, se construye el prototipo de interfaz (véase Figura 9), una herramienta que materializa gráficamente la navegación previamente definida. Según Aguilar Vázquez (2024), la creación temprana de prototipos permite reducir la carga cognitiva del usuario y anticipar mejoras en la experiencia de uso, al visualizar el producto antes de su desarrollo final.



Figura 9. Prototipo de interfaz elaborado en www.balsamiq.com.
Fuente: Los autores.

3.1.3.3 Elaboración de recursos 3D, mediante Blender

El proceso de modelado y renderización de los personajes en 3D se desarrolló en Blender, permitiendo representar digitalmente a los actores de la festividad. Como se observa en la Figura 10, se modeló al Diablo de Lata, mientras que en la Figura 11 se presenta al Payaso. De igual manera, la Figura 12 muestra al Perro, seguido en la Figura 13 por el Sacha Runa. Posteriormente, en la Figura 14 se aprecia al Vasallo y finalmente, en la Figura 15, al Prioste.



Figura 10. Modelo 3D Diablo de Lata.
Fuente: Los autores.



Figura 11. Modelo 3D Payaso.
Fuente: Los autores.

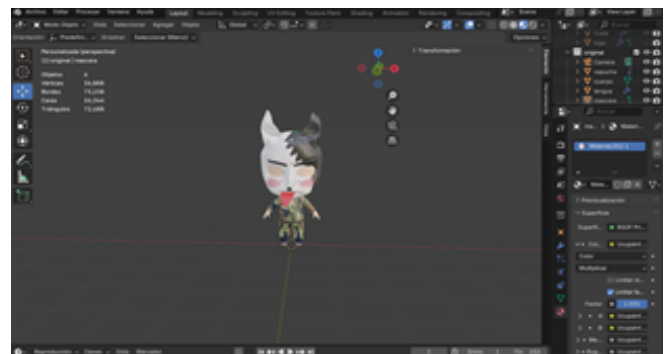


Figura 12. Modelo 3D Perro.
Fuente: Los autores.

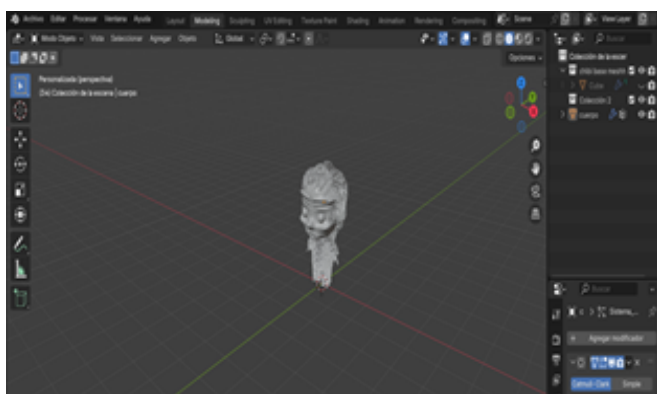


Figura 13. Modelo 3D Sacha Runa.
Fuente: Los autores.



Figura 14. Modelo 3D Vasallo.
Fuente: Los autores.



Figura 15. Modelo 3D Prioste.
Fuente: Los autores.

3.1.3.4 Integración de recursos en Unity, programación de experiencia

3.1.3.4.1 Marcador

Después de haber elaborado la marca como el diseño de recursos visuales, se procede a crear un marcador (ver Figura 16) para la activación de la realidad aumentada. Este marcador funciona como elemento físico que, al ser detectado por la cámara, desencadena la superposición del contenido digital en tiempo real, este fue elaborado usando Inteligencia Artificial Generativa.



Figura 16. Marcador para la activación de la R-A.
Fuente: Los autores.

3.1.3.4.2 Desarrollo en Unity

En el desarrollo de la aplicación se procedió a la programación del marcador de Realidad Aumentada, permitiendo que el sistema identifique y reaccione a patrones visuales específicos. Tras esto, se realizó la conexión con la base de datos de Vuforia, la cual almacena y gestiona los diferentes marcadores y sus parámetros de reconocimiento, tal como se muestra en la figura 17, se integró el marcador con los objetos tridimensionales, asegurando que cada modelo 3D se proyectara correctamente en posición y orientación, como se evidencia en la figura 18. Para incrementar la interactividad y el realismo, se implementaron animaciones de los personajes en Unity, ajustando movimientos y comportamientos que respondieran a la interacción del usuario, según se aprecia en la figura 19. A más de esto se integra la animación de los objetos 3D como se observa en la figura 20. Durante este proceso se sincronizaron los elementos visuales con las funciones de interacción, garantizando que los

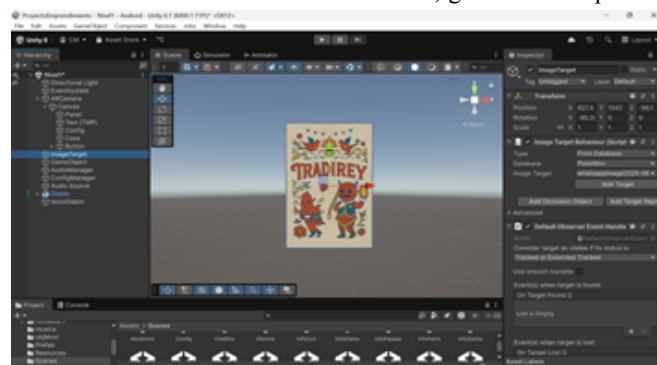


Figura 17. Programación del marcador para Realidad Aumentada
Fuente: Los autores.

objetos respondieran de manera coherente a eventos y gestos. Se optimizaron aspectos como iluminación, escala y suavidad de las animaciones para mantener consistencia y naturalidad.

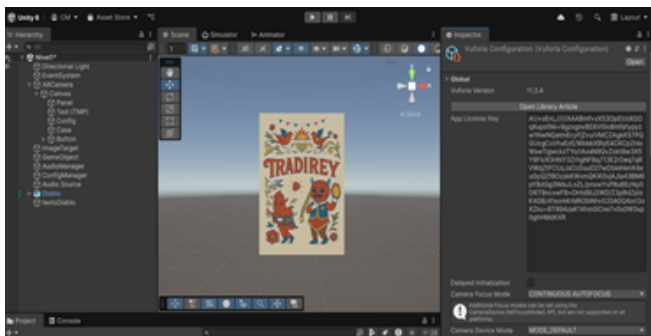


Figura 18. Conexión de la base de Datos de Vuforia en la plataforma de Unity.
Fuente: Los autores.

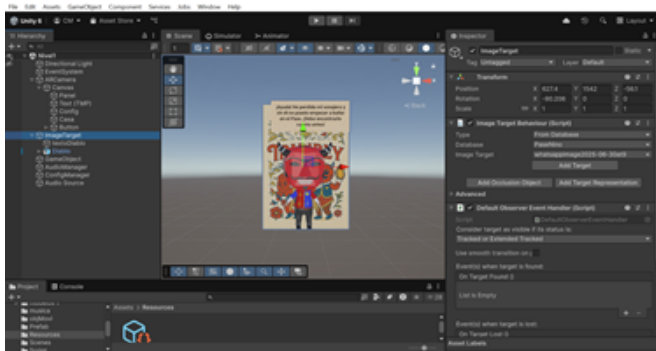


Figura 19. Incorporación de los objetos modelados en 3D con el Marcador de Realidad Aumentada en Unity.
Fuente: Los autores.

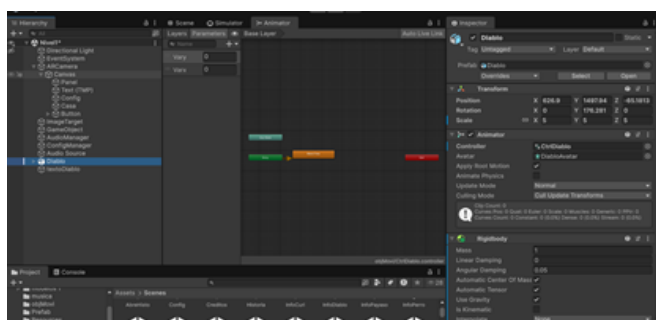


Figura 20. Integración de la animación del objeto en 3D del Diablo de Lata en Unity.
Fuente: Los autores.

3.1.3.4.3 Lógica de programación

En la aplicación se realizó la programación de los botones de navegación utilizando C# en Unity, permitiendo que los usuarios se desplacen de manera intuitiva entre las distintas escenas y secciones de la interfaz, como se observa en la figura 21. Se definieron las funciones asociadas a cada botón, como avanzar, retroceder o acceder a menús específicos, asegurando una interacción fluida y sin errores. Durante el desarrollo se realizaron pruebas continuas para verificar la correcta ejecución de cada acción y la estabilidad del sistema. Este funcionamiento se visualiza en la figura 22.

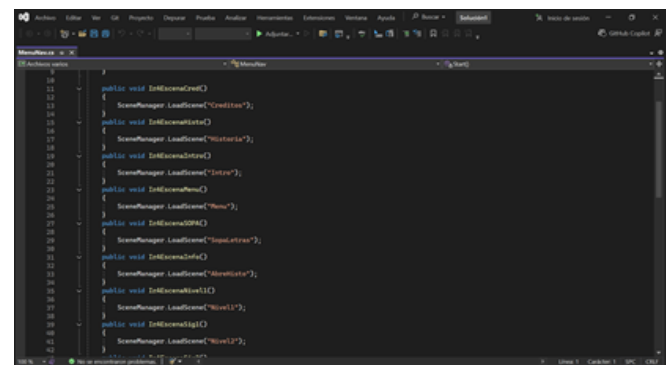


Figura 21. Programación de los botones de navegación en C# para Unity.
Fuente: Los autores.



Figura 22. Diseño del menú principal de la aplicación TradiREY en Unity.
Fuente: Los autores.

3.1.3.4.4 Simulación

Previo al Sprint 4, se llevó a cabo la ejecución de una simulación de la aplicación con el objetivo de comprobar su funcionamiento

y detectar posibles errores antes de su implementación final, como se mostró en el ciclo de desarrollo de la figura 1, y esto se evidencia adecuadamente en las figura 23 y 24. Durante esta simulación se evaluaron los distintos módulos, la interacción de los usuarios con los botones de navegación, la correcta visualización de los objetos en 3D y la respuesta de las animaciones en tiempo real. El procedimiento permitió identificar y corregir inconsistencias en la programación, optimizar la integración de los marcadores de Realidad Aumentada y verificar la estabilidad general del sistema.



Figura 23. Simulación de la Realidad Aumentada.
Fuente: Los autores.



Figura 24. Simulación de la Realidad Aumentada.
Fuente: Los autores.

3.1.4. Sprint 4: Evaluación

Se elaboró una encuesta estructurada con escala Likert de 5 puntos para medir la usabilidad, rendimiento y experiencia de usuario de la aplicación. El cuestionario fue validado mediante una rúbrica que se muestra en la tabla 3, por un experto en usabilidad y experiencia de usuario.

Los resultados tras el proceso de validación se muestran en la tabla 4. El experto calificó la claridad de los ítems y la pertinencia del contenido como, Excelente, lo que indica que los enunciados son comprensibles y adecuados para la evaluación. La adecuación del formato fue valorada como, Excelente, ya que, el diseño facilita su aplicación y comprensión, la coherencia con los principios de usabilidad de Nielsen, también se calificó como, Excelente,

Tabla 3. Rúbrica de validación del instrumento por juicio de experto.

Fuente: Elaborado por autores.

Criterio	Excelente (3)	Bueno (2)	Regular (1)	Deficiente (0)
Claridad de los ítems	Ítems claros y precisos, sin ambigüedades	Ítems comprensibles, con mínimas dudas	Ítems poco claros, causan confusión	Ítems ambiguos y confusos
Pertinencia del contenido	Ítems totalmente relevantes para el estudio	Ítems relevantes en su mayoría	Ítems con relevancia limitada	Ítems irrelevantes para el objetivo
Adecuación del formato	Formato apropiado y fácil de responder	Formato adecuado con pequeñas mejoras	Formato poco adecuado	Formato inapropiado para el público
Coherencia con usabilidad (Nielsen, 1993)	Alineado	Mayormente alineado.	Parcialmente alineado	No alineado.

esto muestra una alineación con criterios técnicos reconocidos, confirmando la validez del instrumento.

Tabla 4. Resultados del juicio de experto.

Fuente: Elaborado por autores.

Aspecto evaluado	Calificación	Porcentaje (%)	Interpretación
Claridad de los ítems	Excelente	100%	Enunciados comprensibles y adecuados para la evaluación
Pertinencia del contenido	Excelente	100%	Contenido apropiado para el propósito de la evaluación
Adecuación del formato	Excelente	100%	Diseño que facilita la aplicación y comprensión
Coherencia con principios de usabilidad de Nielsen	Excelente	100%	Alineación con criterios técnicos reconocidos

3.2 Resultados de la encuesta “Prueba de usabilidad y funcionamiento-App TradiRey”.

La Tabla 5 resume las valoraciones cuantitativas de los participantes, ofreciendo un panorama detallado del nivel de aceptación y de las áreas prioritarias para perfeccionamiento, como se muestra a continuación:



Tabla 5. Resultados generales de la prueba de usabilidad de la aplicación TradiRey (n=150)

Fuente: Datos adaptados de la encuesta “Prueba de usabilidad y funcionamiento-App TradiRey” (2025).

Dimensión evaluada	Excelente	Bueno	Aceptable/Regular	Deficiente
Interfaz y experiencia de usuario	63 (42%)	81 (54%)	6 (4%)	0 (0%)
Instrucciones y comprensión	96 (64%)	51 (34%)	3 (2%)	0 (0%)
Reconocimiento de marcadores RA	75 (50%)	74 (49%)	1 (1%)	0 (0%)
Eficiencia en tareas	71 (47%)	74 (49%)	5 (4%)	0 (0%)
Satisfacción y motivación	95 (63%)	54 (36%)	1 (1%)	0 (0%)
Diseño y botones sin errores	95 (63%)	51 (34%)	4 (3%)	0 (0%)
Adaptabilidad en pantallas/entornos	101 (67%)	48 (32%)	1 (1%)	0 (0%)
Inicio de aplicación (tiempo)	38 (25%)	111 (74%)	1 (1%)	0 (0%)
Transición pantalla principal	93 (62%)	53 (35%)	4 (3%)	0 (0%)
Estabilidad al iniciar app	69 (46%)	74 (49%)	7 (5%)	0 (0%)
Reconocimiento RA (tiempo)	60 (40%)	87 (58%)	2 (1%)	1 (1%)
Animación RA	87 (58%)	58 (39%)	5 (3%)	0 (0%)
Estabilidad RA	83 (55%)	63 (42%)	4 (3%)	0 (0%)
Carga de imágenes RA	74 (49%)	71 (47%)	5 (4%)	0 (0%)
Carga de actividad interactiva	47 (31%)	101 (67%)	1 (1%)	1 (1%)
Interacción en actividad	77 (51%)	69 (46%)	4 (3%)	0 (0%)
Estabilidad durante el juego	68 (45%)	81 (54%)	1 (1%)	0 (0%)
Navegación: botones	99 (66%)	50 (33%)	1 (1%)	0 (0%)
Navegación: cierre de la app	93 (62%)	57 (38%)	0 (0%)	0 (0%)
Navegación: transiciones	89 (59%)	61 (41%)	0 (0%)	0 (0%)
Navegación: menús	98 (65%)	51 (34%)	1 (1%)	0 (0%)
Navegación: sonido ON/OFF	99 (66%)	51 (34%)	0 (0%)	0 (0%)

El análisis general de la encuesta indica muestra una valoración positiva del desempeño de la aplicación desarrollada. La mayoría de los participantes calificó las distintas dimensiones entre los niveles Excelente y Bueno, lo que evidencia que la herramienta cumple con los criterios de funcionalidad, diseño y experiencia esperados. El promedio general alcanzó un 57 % en la categoría Excelente, un 41 % en Bueno, un 2 % en Aceptable o Regular y entre 0 % y 1 % en Deficiente. Este comportamiento refleja una percepción favorable y homogénea de la usabilidad del sistema.

Las dimensiones con mayor puntuación correspondieron a Adaptabilidad en pantallas y entornos con 67 % en nivel excelente, Navegación: botones y Sonido ON/OFF con 66 %, e Instrucciones y comprensión con 64 %. Estos valores evidencian que la interfaz ofrece claridad, facilidad de uso y adaptabilidad en distintos dispositivos. Las categorías con menor valoración fueron Inicio de la aplicación con 25 % en nivel excelente y 74 % en nivel bueno, y Carga de actividad interactiva con 31 % y 67 % respectivamente. Estos porcentajes reflejan ligeros retrasos en la apertura y ejecución de ciertas funciones interactivas, sin afectar la funcionalidad global.

En los componentes relacionados con realidad aumentada, los valores alcanzados en Estabilidad RA (55 % excelente, 42 % bueno) y Reconocimiento de marcadores RA (50 % excelente, 49 % bueno) muestran un rendimiento constante y sin fallos significativos. Los aspectos de navegación, que incluyen botones, menús, cierres y transiciones, obtuvieron más del 90 % entre las categorías excelente y bueno, lo que confirma una estructura operativa estable y fluida. Los aspectos técnicos a optimizar se relacionan con el tiempo de inicio y la carga de elementos interactivos, sin afectar la percepción global.

3.3 Discusión

3.3.1 Desarrollo de apps a través de la metodología Scrum

El resultado del proceso de desarrollo de la aplicación TradiRey concuerda con las conclusiones establecidas por Setiana y Yunizar (2025), quienes demuestran que la adopción de Scrum genera un incremento en la eficiencia de los proyectos de desarrollo, condicionado a que los equipos de trabajo cuenten con un nivel adecuado de competencia en la implementación de metodologías ágiles, estos hallazgos se alinean con la investigación desarrollada por Zmudczynska y Chen (2024), en la cual la utilización de Scrum para el desarrollo de una plataforma turística facilitó procesos de mejora y elevó los índices de satisfacción del usuario. En el contexto específico de TradiRey, la implementación de esta metodología dividida en Sprint facilitó la realización de modificaciones funcionales,

resultando en una aplicación alineada en función a las demanda a los requerimientos de los usuarios objetivo, esta experiencia práctica respalda los postulados teóricos previos al evidenciar que Scrum trasciende la optimización de procesos de gestión y entrega incremental del producto, contribuyendo al refinamiento de la relevancia pedagógica y la experiencia de usuario en aplicaciones de carácter educativo y cultural que necesitan los usuarios.

3.2.1 Usabilidad de la aplicación

La usabilidad de la aplicación fue percibida como intuitiva y estable, ya que su interfaz facilitó la interacción del usuario, este principio corresponde a lo señalado por Nielsen (1993) en su teoría de la usabilidad, donde se resalta la importancia de la consistencia y la eficiencia como elementos esenciales en cualquier sistema interactivo, en la misma línea, Okonkwo (2024) sostiene que las aplicaciones móviles deben asegurar simplicidad visual y accesibilidad para garantizar la satisfacción del usuario. Bajo esta perspectiva, contar con interfaces limpias y con una navegación intuitiva se convierte en un factor para lograr la aceptación de las aplicaciones. El estudio reciente de Majumder (2025) afirma que la retención de usuarios en aplicaciones móviles se encuentra directamente vinculada con la calidad percibida en la navegación y con la ausencia de fallos técnicos. A pesar de estos aspectos positivos, se encontró un elemento que en sí mismo no es un aspecto crucial pero sí que se debe tomar en cuenta, este es el tiempo de inicio de la aplicación, aunque, en términos generales, los usuarios valoraron de manera positiva el rendimiento, la investigación señala que la demora en el arranque puede influir en la motivación y en la disposición para continuar utilizando la aplicación (Majumder, 2025). Así, aunque TradiRey cumple con la mayoría de los estándares de usabilidad, resulta necesario optimizar este proceso interno con el fin de garantizar una experiencia satisfactoria para el usuario.

4. Conclusiones

A modo de cierre de este estudio, se concluye que es viable el uso de la tecnología en el proceso de transformación del patrimonio festivo del “Pase del Niño Rey de Reyes” de la ciudad de Riobamba, ya que al usar la metodología de desarrollo ágil Scrum se desplegó una app que transformó la pasividad del espectador, generando una nueva forma de experimentarla, la misma que promueve espacios de participación activa e incluye a toda la colectividad, fomentando la transmisión cultural de manera interactiva y atrayente.

En este sentido, mediante pruebas de usabilidad se buscó que el producto sea óptimo, encontrando que, pese a su buena recepción por parte del público objetivo, existe un aspecto que peca más de fondo que de forma y que en un futuro puede provocar un poco de molestia en el usuario: el tiempo de arranque, esta novedad es independiente con respecto a la app y dependerá mucho del dispositivo que use el usuario.

Limitaciones y recomendaciones para futuros estudios

Se recomienda que en futuros estudios se aplique una comprobación de hipótesis de correlación entre la transformación del patrimonio festivo mediante realidad aumentada y otras festividades, ya que esta investigación no buscó comprobar ninguna hipótesis, sino desarrollar y evaluar una aplicación. Se sugiere trabajar con un grupo multidisciplinar. Esto permitiría optimizar recursos y reducir limitaciones como el desarrollo de modelado 3D, que demanda tiempo y especialización. También se identificó la falta de especificaciones técnicas de los dispositivos utilizados por los participantes, lo que probablemente influyó en la percepción del rendimiento de la aplicación. La ausencia de guías estandarizadas y metodologías específicas para el desarrollo de aplicaciones que integren tecnologías emergentes es una limitante en la elaboración de criterios de evaluación de usabilidad. Por ello, se recomienda que futuras investigaciones consideren la implementación de marcos de desarrollo estructurados para este tipo de tecnologías, con el objetivo de establecer estándares que orienten tanto el diseño como la evaluación de estas aplicaciones.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a los artesanos que elaboraron los trajes emblemáticos del Pase del Niño Rey de Reyes de la ciudad de Riobamba, y diferentes actores culturales que con sus valiosos aportes nos ayudaron a comprender de mejor manera esta festividad y a trasladarla al ámbito digital. También expresamos nuestro agradecimiento a los familiares de los autores por su apoyo incondicional, así como a la Universidad Nacional de Chimborazo por su colaboración.

Contribución de los autores

Edison Amador Miguez Gordillo: Conceptualización, Metodología, Investigación, Software, Redacción-revisión, edición del artículo, y borrador original del artículo. **Cynthia Carolina Mena Mena:** Investigación, Software, Redacción – revisión y edición del artículo. **Manuel David Isín Vilema:** Redacción – revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Vázquez, J. A. (2024). Optimización de la experiencia de usuario (UX) en aplicaciones web: mejores prácticas para el 2024. Medium.
- Al-Harhi, S. A. (2025). Generative AI in Game Design: Enhancing Creativity or Constraining Innovation?



- Journal of Intelligence*, 13(6), 60. <https://doi.org/10.3390/jintelligence13060060>
- Aydin, G., & Silaharoglu, G. (2024). Insights into mobile health application market via a content analysis of marketplace data with machine learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.10789>
- Bravo Cedeño, T.J., Miguez Gordillo, E.A., Isín Vilema, M.D. y Peñafiel Barros, G.O. 2024. Diseño y usabilidad en una App de realidad aumentada (R-A) para la difusión de piezas cerámicas de cultura PURUHÁ. *Informática y Sistemas*, 8(2), 111-121. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.7010>.
- Ecuador Travel. (2024). Riobamba y los Pases del Niño: Una fiesta de fe y tradición andina. Ministerio de Turismo de Ecuador.
- Gallo Ricaurte, D., Rivera Guerrero, A., Pinos Cabrera, R., & Torres Castillo, D. (2024). La Revolución Digital en la Industria Turística en Ecuador: Impacto de la Inteligencia Artificial, Realidad Virtual, Aumentada y Automatización. *Polo del Conocimiento*, 9(10), 671-687. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/8138/html>.
- Goaraymi. (2024). Pase del Niño Riobambeño. GAD Municipal de Riobamba.
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2023). Pase del Niño. Gobierno del Ecuador.
- Lapo-Lapo, N. T., Zapata-Álvarez, A. V., & Chiliquina-García, A. I. (2025). Realidad aumentada como herramienta para promover el trabajo artesanal de Pujilí y su contribución al enriquecimiento cultural: Augmented reality as a tool to promote the artisanal work of Pujilí and its contribution to cultural enrichment. *Multidisciplinary Latin American Journal (MLAJ)*, 3(1), 396-418. <https://doi.org/10.62131/MLAJ-V3-N1-019>
- Lee, W.-T., & Chen, C.-H. (2023). Agile software development and reuse approach with Scrum and software product line engineering. *Electronics*, 12(15), 3291. <https://doi.org/10.3390/electronics12153291>
- Luna López, T. , Martínez Cantú, A. G. , & Patiño Zúñiga, I. A. . (2024). Validación de instrumentos virtuales de recolección de datos por juicio de expertos. *Revista Electrónica Sobre Tecnología, Educación y Sociedad*, 11(21). Recuperado a partir de <https://ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/816>
- Majumder, A. S. (2025). The influence of UX design on user retention and conversion rates in mobile apps. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2501.13407>
- Mortara, M., et al. (2021). Augmented reality mobile apps for cultural heritage reactivation: A case study in Medellín, Colombia.
- Computers & Electrical Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107281> Nielsen, J. (1993). Usability engineering. Morgan Kaufmann.
- Okonkwo, C. (2024). Assessment of User Experience (UX) Design Trends in Mobile Applications. *Journal of Technology and Systems*, 6(5), 29–41. <https://doi.org/10.47941/jts.2147>
- Oñate Sinaluisa, Edison Fernando. (2022). Plan de salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial referido al pase del niño del cantón Riobamba para la inclusión en la lista representativa del PCI. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17826>
- Ortiz Cumbal, D. V., Cedeño Vinces, K. L. ., & Ruiz Erazo, V. G. . (2024). Experiencias inmersivas en dark tourism: aplicación de realidad aumentada en Ibarra. *Tierra Infinita*, 10(1), 26-43. <https://doi.org/10.32645/26028131.1304>
- Setiana, I., & Yunizar. (2025). The Effect of Scrum Implementation and Agile Organization on Project Productivity Mediated by Team Experience. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan*, 13(5), 3725–3734. <https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i5.3798>
- Shivottam, J., & Mishra, S. (2023). Tirtha: An automated platform to crowdsource images and create 3D models of heritage sites. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2308.01246>
- Silva, C., Zagalo, N., & Vairinhos, M. (2023). Towards participatory activities with augmented reality for cultural heritage: A literature review. *Computers & Education: X Reality*, 4, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100044>
- Sotelo-Martín, J.-A. . (2023). Metodología Scrum con Recursos Educativos Abiertos en Educación Superior Universitaria: Revisión Sistemática en Lengua Española. *Educación*, 29(2), e3039. Recuperado a partir de <https://revistas.unife.edu.pe/index.php/educacion/article/view/3039>
- Tajik, O. , Golzar, J. and Noor, S. (2025). Purposive Sampling. *International Journal of Education & Language Studies*, 0(), 1-9. doi: 10.22034/ijels.2025.490681.1029

Vlachogianni, P., & Tselios, N. (2023). Perceived usability evaluation of educational technology using the Post-Study System Usability Questionnaire (PSSUQ): A systematic review. *Sustainability*, 15(17), 12954. <https://doi.org/10.3390/su151712954>

Yáñez Pérez, I., Toma, R. B., & Meneses Villagrà, J. Ángel. (2024). Diseño y usabilidad de IndagApp: una app para la enseñanza de las ciencias por indagación. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(2), 223–245. <https://doi.org/10.5944/ried.27.2.39109>

Zhang, Z., & Liu, Y. (2024). Augmented reality in cultural heritage: A dual-model pipeline for artwork recognition and 3D model generation. arXiv. <https://arxiv.org/html/2507.13719v1>

Zmudczynska, E.W., Chen, HC. (2024). Using Scrum to Build Tourism Information Mobile Application. In: Barolli, L. (eds) *Advanced Information Networking and Applications*. AINA 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 199. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57840-3_39





Aplicación de Design Thinking en el diseño de un entorno interactivo de Química con Realidad Aumentada

Application of Design Thinking in the design of an interactive Chemistry environment with Augmented Reality

Autores

Manuel David Isín Vilema

✉ misin@unach.edu.ec



Leonardo Josue Guevara Alvarez

✉ leonardo.guevara@unach.edu.ec



* **Bryan Alexander Pumaquero Cayambe**

✉ bryan.pumaquero@unach.edu.ec



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

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Isín Vilema, M.D., Guevara Alvarez, L.J. & Pumaquero Cayambe, B. A. (2026). Aplicación de Design Thinking en el diseño de un entorno interactivo de Química con Realidad Aumentada. *Informática y Sistemas*, 10(1), 14–23. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.7903>

Enviado: 26/09/2025

Aceptado: 18/12/2025

Publicado: 07/01/2026

Resumen

El presente trabajo expone la creación de un entorno químico interactivo mediante el uso de realidad aumentada, basado en el principio de diseño centrado en el usuario. Esta investigación comienza al identificar una falta en la educación de química en un instituto de educación secundaria en Ecuador, lo cual se observa en las dificultades que tienen los alumnos para comprender conceptos abstractos y la limitada incorporación de tecnologías modernizadas en el currículo. Mediante un enfoque de investigación que integra tanto técnicas cuantitativas como cualitativas, se involucró a estudiantes y profesores en las fases de empatía, definición, ideación, desarrollo de prototipos y evaluación. Como resultado, se elaboró un prototipo denominado QuimAR, que combina simulaciones tridimensionales, actividades interactivas y elementos de gamificación. Los resultados revelan que la realidad aumentada no solo aumenta la motivación, sino que también fortalece la asimilación de conceptos y mejora la retención de la información, posicionándose como una herramienta educativa con gran potencial. Por lo tanto, se concluye que QuimAR ofrece una alternativa innovadora para la enseñanza de la química en educación secundaria, con la viabilidad de ser aplicada en otras disciplinas académicas.

Palabras clave: Realidad aumentada; Design Thinking; enseñanza de la Química; innovación educativa.

Abstract

This paper presents the creation of an interactive chemistry environment using augmented reality, based on the principle of user-centered design. This research begins by identifying a shortcoming in chemistry education at a secondary school in Ecuador, as evidenced by students' difficulty understanding abstract concepts and the limited incorporation of modern technologies into the curriculum. Using a research approach that integrates both quantitative and qualitative techniques, students and teachers were involved in the phases of empathy, definition, ideation, prototype development, and evaluation. As a result, a prototype called QuimAR was developed, which combines three-dimensional simulations, interactive activities, and gamification elements. The results reveal that augmented reality not only increases motivation but also strengthens the assimilation of concepts and improves information retention, positioning itself as an educational tool with great potential. Therefore, it is concluded that QuimAR offers an innovative alternative for teaching chemistry in secondary education, with the feasibility of being applied in other academic disciplines. alternative for Chemistry teaching in high school education, with the added advantage of scalability to other disciplines.

Keywords: Augmented reality; Design Thinking; Chemistry teaching; educational innovation.



1. Introduction

En años recientes, la inclusión de nuevas tecnologías en el sector educativo ha crecido significativamente, impulsada por el desarrollo tecnológico y la necesidad de reevaluar las estrategias de enseñanza. Entre estas innovaciones, la realidad aumentada (RA) ha emergido como una herramienta prometedora para la enseñanza de la química, al permitir la superposición de información digital sobre el mundo real y facilitar visualizaciones interactivas de conceptos complejos que tradicionalmente resultan abstractos para estudiantes de secundaria. Estudios previos han mostrado beneficios en motivación y visualización conceptual (Zaragoza & Cuevas, 2020; Roncal et al., 2024), pero también han señalado limitaciones metodológicas y contextuales en las implementaciones reportadas.

A pesar de estos avances, persisten brechas importantes: muchas iniciativas se centran en el componente tecnológico sin integrar procesos de diseño centrados en el usuario, presentan tamaños muestrales reducidos o carecen de evaluación en contextos reales de aula. Además, existe escasa evidencia que combine el desarrollo tecnológico con metodologías participativas que involucren activamente a estudiantes y docentes en todas las fases del diseño educativo. Estas carencias limitan la aplicabilidad práctica y la replicabilidad de las soluciones en contextos latinoamericanos y escolares concretos.

Frente a esta necesidad, el presente trabajo propone QuimAR, un entorno interactivo de enseñanza de la química desarrollado mediante la metodología Design Thinking y potenciado por recursos de realidad aumentada. El enfoque adoptado privilegia la participación de usuarios finales (estudiantes y docentes) durante las fases de empatía, definición, ideación, prototipado y evaluación, con el objetivo de garantizar pertinencia pedagógica y usabilidad contextual.

La investigación tiene como objetivo desarrollar y evaluar un prototipo que integre modelos tridimensionales, simulaciones interactivas y elementos de gamificación para facilitar la comprensión conceptual, aumentar la motivación y mejorar la retención del conocimiento en estudiantes de educación secundaria. Con ello se busca aportar evidencia empírica que conecte la eficacia de la RA en la enseñanza de la química con un proceso de diseño centrado en el usuario, ofreciendo un modelo replicable y adaptable a otros contextos y disciplinas.

2. Materiales y Métodos

Para ejecutar el proyecto se ha utilizado un enfoque mixto, que según Sinergia Académica (2025), integra de manera sistemática

tanto técnicas de investigación cuantitativas como cualitativas en un único análisis. La fusión de datos numéricos y cualitativos ha proporcionado a los especialistas la posibilidad de comprender no solo la dimensión de los problemas sociales, sino también las causas y elementos culturales asociados.

La estrategia elegida para implementar este proyecto es el diseño enfocado en las personas. Según Gómez, Gallardo, Toro y Valderrama (2024), esta estrategia se presenta como un método que coloca a los usuarios en el centro del desarrollo de procesos que son colaborativos y multidisciplinarios. Su objetivo es generar alternativas que ayuden a la creación de soluciones innovadoras. De igual forma, implica la formación de habilidades cognitivas para evaluar la situación desde diferentes ángulos y avanzar en el proceso de innovación, debido a que, como se ha señalado, la finalidad de este proceso es identificar las reales necesidades de los grupos de interés.

Bautista, Beltrán, González y Cobos (2023) mencionan que las estrategias creativas utilizadas en este estudio para desarrollar experiencias de realidad virtual se basan en el método del doble diamante, el cual fue presentado por Banathy en 1996 y más tarde se popularizó a través del British Design Council y IDEO en 2008. Este enfoque muestra cómo se aborda un problema, iniciando con la indagación de una posible solución y finalizando con un resultado concreto, tras realizar fases de evaluación que priorizan al usuario. Detalla el recorrido que va desde la investigación preliminar hasta la detección de problemas, la generación de propuestas y la conclusión final, todo ello con un enfoque en la evaluación del usuario. Las fases del modelo de doble diamante que se han utilizado son: empatía, definición, ideación, prototipado y evaluación; como se ilustra en la Figura 1.



Figura 1. Esquema de doble diamante utilizado en este estudio basado en el esquema propuesto el British Design Council y Stickdorn, 2012

Fuente: (Bautista, Beltrán, González, & Cobos, 2023)

Empatía (Investigar): En esta fase, se elaboran ideas sobre posibles acciones, orientándose hacia una elección que se desarrollará. La parte inicial del diamante (diferente) se centra en reconocer el problema y comprender al usuario utilizando herramientas como mapas de empatía, sesiones de generación de ideas, observaciones en el sitio o entrevistas, lo que permite la posibilidad de hacer suposiciones.

Definición: La segunda fase del inicial proceso de exploración del diamante (convergencia) y empatía es la fase de definición, donde se comparan, aceptan y eligen posibles soluciones de manera más estructurada. Esta selección puede ser reducida o ampliada durante el desarrollo del proyecto. Este punto intermedio entre los dos diamantes tiene un impacto significativo en la elaboración de experiencias inmersivas en realidad virtual. Esta definición se compila en un documento, que servirá para mantener la dirección conceptual y los requisitos del proyecto. Este documento es especialmente útil en el ámbito de la realidad virtual, ya que ayuda a evitar concepciones erróneas que pueden interferir con la creación y ejecución de una solución.

Generación de ideas (Diseño): El segmento divergente del segundo diamante representa nuevamente la zona creativa donde se desarrollan y generan propuestas e ideas posibles. Durante esta fase se utilizan recursos como: Mapa de Experiencias del Cliente, Storyboards, Tableros de Ideas, y más, para explorar relatos en realidad virtual que ayuden a representar el producto ideal.

Prototipado (desarrollo): Al seleccionar conceptos, se puede iniciar el proceso con un mayor grado de precisión, deshacerse de las ideas que no son viables y avanzar con las que muestran promesas. La creación de prototipos para experiencias de realidad virtual utiliza una variedad de herramientas de prototipado con diferentes grados de fidelidad, como ShapesXR, que se emplea en esta fase para producir contenido tridimensional en un entorno virtual. Esta herramienta se utiliza junto con gafas de realidad virtual, lo que permite al diseñador trabajar de manera más integral para modificar los elementos en un marco más amplio que sea efectivo al comunicar las ideas a todo el equipo de investigación, y es útil para el prototipado de baja fidelidad.

Evaluación: Las opiniones que brindan los usuarios a través de la experiencia generada establecen normas que se pueden utilizar como mejoras y como una respuesta más efectiva al reto del diseño. Hoy en día, los entornos controlados donde se realizan estas evaluaciones junto con el propósito de la investigación pueden resultar en un resultado más positivo. Ciertas herramientas de realidad virtual disponen de características que facilitan la realización de estas evaluaciones, como la obtención de imágenes de lo que ve una persona, el seguimiento de la mirada en un dispositivo específico y la grabación en video de los desplazamientos y reacciones del usuario.



Figura 2. Diagrama de procesos de actividades por secciones del Design Thinking para VR.

Fuente: (Bautista, Beltrán, González, & Cobos, 2023)

Colorado, Romero, Salazar, Cabrera, and Castillo (2025) indican que uno de los instrumentos comunes en la investigación científica es el cuestionario, el cual debe ser validado y confiable para asegurar la integridad del estudio. Por lo tanto, resulta fundamental corroborar que los instrumentos utilizados hayan sido antes analizados y cuenten con fiabilidad. Así, se aplicó el coeficiente de Cronbach para validar nuestra herramienta en el desarrollo de aplicaciones, permitiéndonos evaluar la fiabilidad relacionada con su consistencia interna. Este coeficiente se utiliza para examinar la fiabilidad del instrumento al comprobar cómo se correlacionan cada uno de los ítems que lo constituyen, lo que significa que refleja el promedio de las correlaciones entre los elementos del cuestionario. Los valores de este coeficiente varían entre 0 y 1; si el resultado se aproxima a 1, se considera que el instrumento es más confiable, mientras que un valor inferior a 0.5 se considera inaceptable. Un valor entre 0.5 y 0.6 se clasifica como deficiente y cualquier puntuación por debajo de 0 es inadmisibles. No obstante, si el coeficiente se encuentra entre 0.7 y 0.8, se considera adecuado. Cuando el coeficiente supera 0.8 pero no llega a 0.9, se evalúa como satisfactorio, y si está por encima de 0.9, se cataloga como excelente.

2.1 Empatizar

El método de diseño comienza con la identificación de las necesidades del usuario, en el que algunas fases iniciales permiten establecer una base para explorar el tema, constituyendo esta fase el primer paso para entender de manera profunda y situacional el inconveniente, tal como se presenta en la Ilustración 3.



Figura 3. Diagrama de la fase de empatía

Fuente: (Bautista, Beltrán, González, & Cobos, 2023)

Se examinaron las opiniones de los alumnos sobre el aprendizaje de la química y el uso de herramientas tecnológicas. Los resultados revelaron un evidente interés en las aplicaciones educativas y en los recursos digitales que fomentan un aprendizaje más dinámico y atractivo. Esta fase inicial nos permitió comprender el entorno de los usuarios y sentar las bases del diseño de acuerdo a sus reales requerimientos.

2.2 Definir

En esta fase se pretende desarrollar una idea preliminar del concepto global, que sirva como fundamento para las elecciones y que esté disponible para los cambios requeridos, además de una revisión continua de los estándares de calidad, tal como se muestra en la Imagen 4.



Figura 4. Diagrama de la fase de definición

Fuente: (Bautista, Beltrán, González, & Cobos, 2023)

A partir de los datos recopilados, se determinó que el principal inconveniente era la dificultad para comprender ideas abstractas y la ausencia de un ambiente más visual, interactivo y que promoviera la curiosidad. Por lo tanto, como desafío de diseño, se elaboró una propuesta educativa que integrara herramientas digitales innovadoras en el proceso de enseñanza.

2.3 Idear

La fase más creativa de todo el procedimiento, en la que los creadores llevan a cabo la mayor parte de su labor, utiliza múltiples recursos, ya sea de forma individual o colectiva, en la que intentan trabajar juntos para lograr la idea más eficaz y factible, la cual luego será desarrollada, tal como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Diagrama de la fase de ideación

Fuente: (Bautista, Beltrán, González, & Cobos, 2023)

Con el apoyo de estudiantes y docentes, se realizaron diferentes proyectos que enfatizaron la importancia de incluir simulaciones tridimensionales, actividades participativas, juegos activos y sistemas de motivación. Estas propuestas se definieron como bases para estructurar la implementación y establecer funciones clave.

2.4 Prototipar

La fase de creación de prototipos (Figura 6) produce componentes que se utilizarán para llevar a cabo pruebas de validación con los usuarios.



Figura 6. Diagrama de la fase de prototipado

Fuente: (Bautista, Beltrán, González, & Cobos, 2023)

Tomando en cuenta las preferencias y tendencias identificadas, se desarrolló un modelo de operación para CoSpaces Edu, que incluía simulaciones químicas interactivas, opciones de realidad aumentada, capacidades sin conexión y elementos de juego.

Además, se consideraron aspectos estéticos, como la elección de una paleta de colores relacionada con la ciencia y la decisión de un nombre que fuera bien recibido por los usuarios.

2.5 Probar

En la fase final del procedimiento, se realizan evaluaciones con la finalidad de identificar mejoras y elementos adicionales que se puedan incluir en el prototipo (ver Figura 7).

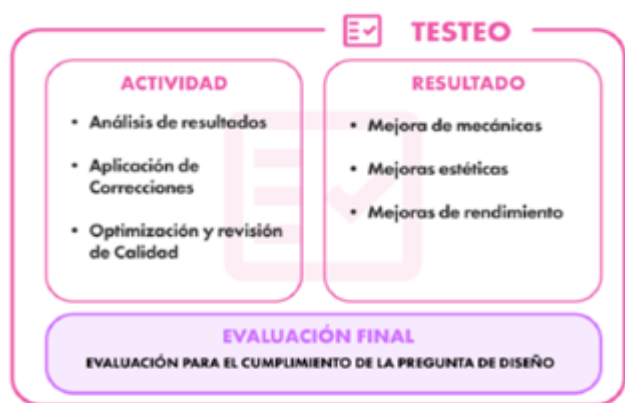


Figura 7. Diagrama de la fase de testeo

Fuente: (Bautista, Beltrán, González, & Cobos, 2023)

En esta fase se examinó la eficacia del enfoque utilizado para la recolección de información mediante el coeficiente de Cronbach, lo que garantizó su confianza. La ejecución del sondeo ayudó a verificar que la herramienta utilizada cumple con los criterios fundamentales para promover el progreso de la aplicación y validar su relevancia como instrumento de enseñanza.

2.6 Participantes

La muestra estuvo conformada por 61 estudiantes de educación secundaria de varias regiones del Ecuador. Los participantes presentaban edades comprendidas entre 15 y 16 años, correspondiente a los niveles de educación secundaria donde se imparte la asignatura de Química. El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, considerando la disponibilidad de los estudiantes para participar en la investigación. Todos los participantes contaron con el consentimiento informado por parte de sus representantes legales, garantizándose en todo momento la confidencialidad y el anonimato de la información recolectada.

2.7 Instrumentos

Para la recolección de datos se aplicó un cuestionario estructurado, compuesto por 10 ítems, organizado en cuatro dimensiones: (1) interés por el uso de aplicaciones educativas, (2) preferencia por entornos interactivos, (3) motivación hacia el aprendizaje de la química y (4) percepción de la comprensión conceptual. Los ítems fueron evaluados mediante una escala tipo Likert de cinco niveles (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo).

La validez de contenido del instrumento fue determinada mediante juicio de expertos, quienes evaluaron la claridad, coherencia y pertinencia de cada ítem. La consistencia interna del cuestionario se calculó mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de $\alpha = 0.87$, lo que indica una fiabilidad excelente del instrumento aplicado.

2.8 Procedimiento

La investigación se desarrolló en cuatro fases principales: (1) diagnóstico inicial mediante la aplicación de encuestas a los estudiantes, (2) diseño del prototipo QuimAR aplicando las fases de la metodología Design Thinking (empatía, definición, ideación, prototipado y evaluación), (3) implementación del entorno de realidad aumentada en sesiones de clase, y (4) evaluación final del prototipo.

La aplicación se realizó durante el período académico 2024, en sesiones de aproximadamente 40 minutos, en las cuales los estudiantes interactuaron con los recursos digitales del entorno QuimAR.

2.9 Análisis de datos

El análisis de los datos cuantitativos se realizó mediante estadística descriptiva, calculándose frecuencias, porcentajes, medias y desviaciones estándar. Para fortalecer la validez de los resultados, se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, estableciendo un nivel de significancia de $p < 0.05$.

El análisis cualitativo se desarrolló mediante un proceso de codificación temática de las respuestas abiertas obtenidas en el instrumento, permitiendo la identificación de categorías emergentes relacionadas con la motivación, el interés, la usabilidad del sistema y la comprensión conceptual generada por el uso del entorno QuimAR.

3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del cuestionario permitieron analizar la percepción de los estudiantes sobre el uso del entorno QuimAR en el aprendizaje de la química. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes organizados según las dimensiones evaluadas.

- ¿Estoy interesado/a en aplicaciones educativas que estén disponibles en mi región?

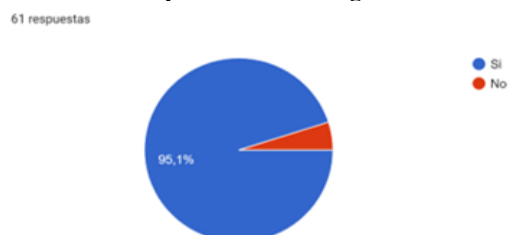


Figura 8. Interés aplicaciones educativas

Fuente: Los autores

Tabla 1. Interés aplicaciones educativas
 Fuente: Los autores

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Sí	58	95.1%
No	3	4.9%
Total	61	100%

Análisis:

Los resultados evidencian una alta aceptación del uso de aplicaciones educativas por parte de los estudiantes. El 95,1 % de los participantes manifestó estar de acuerdo o totalmente de acuerdo con el uso de aplicaciones como apoyo al aprendizaje, mientras que solo un 4,9 % mostró una postura indiferente o en desacuerdo. Este resultado refleja una actitud positiva hacia la integración de herramientas digitales en el proceso educativo.

Además del análisis descriptivo, los datos muestran una media alta en la dimensión de interés, lo que confirma una disposición favorable hacia el uso de recursos tecnológicos como apoyo al aprendizaje de la química, reforzando el potencial de QuimAR como herramienta educativa innovadora.

• **¿La edad influye en la manera que aprendo química?**

61 respuestas

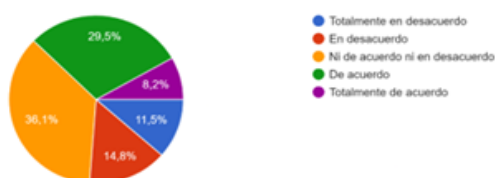


Figura 9. Edad influye en la manera en la que aprendo química
 Fuente: Los autores

Tabla 2. Edad influye en la manera en la que aprendo química
 Fuente: Los autores

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Totalmente en desacuerdo	7	11,5%
En desacuerdo	9	14,8%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	22	36,1%
De acuerdo	18	29,5%
Totalmente de acuerdo	5	8,2%
Total	61	100%

Análisis:

Los resultados de la encuesta indican que una proporción significativa de los encuestados (36,1%) considera que la edad no influye en su aprendizaje de química, al elegir la opción “Ni de acuerdo ni en desacuerdo”. Sin embargo, un 29,5% de los participantes está de acuerdo en que sí existe una influencia, mientras que solo un 8,2% afirma estar totalmente de acuerdo. Por otro lado, el 11,5% de los encuestados considera que la edad no influye en absoluto, eligiendo la opción “Totalmente en desacuerdo”. Por lo tanto, estos resultados sugieren que, aunque hay un número considerable de personas que creen que la edad tiene un impacto en su aprendizaje de química, también existe un grupo significativo que sostiene que no es un factor determinante.

• **¿Valoras las aplicaciones que hacen el aprendizaje entretenido?**

61 respuestas

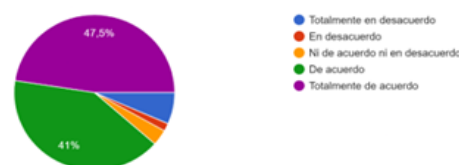


Figura 10. Valoración aplicaciones
 Fuente: Los autores

Tabla 3. Valoración aplicaciones
 Fuente: Los autores

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	29	47,5%
De acuerdo	25	41%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2	3,3%
En desacuerdo	1	1,6%
Totalmente en desacuerdo	4	6,6%
Total	61	100%

Análisis

La mayoría de los encuestados (88,5%) está de acuerdo en que las aplicaciones hacen el aprendizaje entretenido, con un 47,5% que se declara “totalmente de acuerdo” y un 41% que está “de acuerdo”. Solo un pequeño porcentaje (11,5%) muestra desacuerdo o una postura neutral, lo que sugiere una percepción muy positiva de estas herramientas en el proceso de aprendizaje.

Por lo tanto, los resultados indican una fuerte aceptación de las aplicaciones como recursos que facilitan un aprendizaje más ameno y atractivo. Esta tendencia resalta la importancia de integrar tecnologías interactivas en los entornos educativos para maximizar el compromiso y la efectividad del aprendizaje.

• ¿Me considero una persona que disfruta aprender a través de tecnología innovadora?

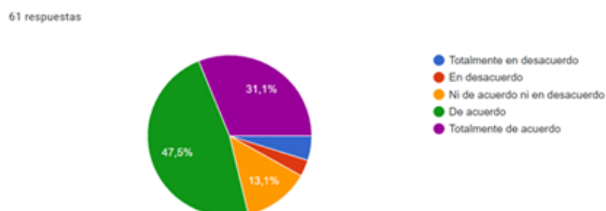


Figura 11. Aprender a través de tecnología Innovadora
 Fuente: Los autores

Tabla 4. Aprender a través de tecnología Innovadora
 Fuente: Los autores

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	19	31.1%
De acuerdo	29	47.5%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	8	13.1%
En desacuerdo	2	3.3%
Totalmente en desacuerdo	3	4.9%
Total	61	100%

Análisis:

Los resultados muestran que una mayoría significativa de los encuestados (47.5%) está de acuerdo con la propuesta de la aplicación, mientras que un 31.1% está totalmente de acuerdo. Por lo tanto, esto indica una recepción positiva hacia la idea, sugiriendo que el desarrollo de la aplicación tiene un buen potencial en el mercado. Por lo tanto, la mayoría de los participantes expresa una opinión favorable hacia la aplicación, con un 78.6% de respuestas que se agrupan entre “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo”. Por lo tanto, es fundamental considerar estas opiniones en el desarrollo y diseño de la aplicación, asegurando que se alineen con las expectativas de los usuarios potenciales.

Análisis:

En relación con la preferencia por entornos interactivos frente a métodos tradicionales, el 70,5 % de los estudiantes indicó una clara inclinación por el uso de entornos virtuales e interactivos para el aprendizaje de la química, mientras que el resto se distribuyó entre posturas neutrales y desfavorables.

• Prefiero aprender en un entorno interactivo en lugar de métodos tradicionales

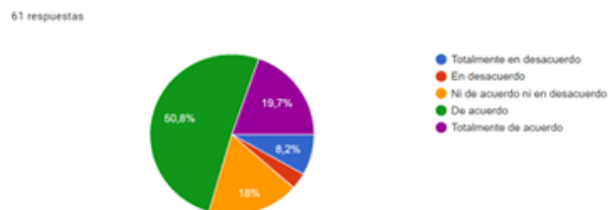


Figura 12. Aprender en entornos interactivos
 Fuente: Los autores

Tabla 5 Opinión sobre el aprendizaje interactivo
 Fuente: Los autores

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	12	19.7%
De acuerdo	31	50.8%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	11	18%
En desacuerdo	2	3.3%
Totalmente en desacuerdo	5	8.2%
Total	61	100%

Este resultado sugiere que los estudiantes perciben los entornos interactivos como una alternativa atractiva que facilita la comprensión de los contenidos, especialmente aquellos de carácter abstracto, como enlaces químicos, estructuras moleculares y reacciones.

• Me siento motivado para aprender química cuando utilizo herramientas visuales.

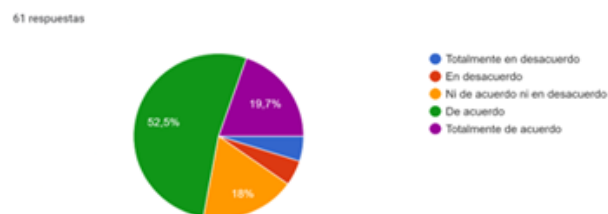


Figura 13. Motivación para aprender química con herramientas visuales
 Fuente: Los autores

Tabla 6. Motivación para aprender química con herramientas visuales
 Fuente: Los autores

Opinión	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	12	19,7%
De acuerdo	32	52,5%
Ni de acuerdo ni desacuerdo	11	18%
En desacuerdo	3	4,9%
Totalmente en desacuerdo	3	4,9%
Total	61	100%

Análisis

En base los resultados obtenidos, se observa que la mayoría de los encuestados se siente motivada para aprender química al utilizar herramientas visuales. En particular, el 52.5% (32 personas) de los participantes se mostró “de acuerdo” con esta afirmación, lo que indica una fuerte predisposición hacia el uso de recursos visuales en el aprendizaje. Por otro lado, un 19.7% (12 personas) se manifestó “totalmente de acuerdo”, lo que refuerza la idea de que las herramientas visuales son efectivas en la enseñanza de esta materia. Un 18% (11 personas) de los encuestados optó por la opción de “ni de acuerdo ni desacuerdo”, sugiriendo que hay un grupo que puede no tener una opinión firme sobre el tema. En contraste, solo un 4.9% (3 personas) se declaró “en desacuerdo” y otro 4.9% (3 personas) “totalmente en desacuerdo”, lo que indica que la mayoría de los participantes ve en las herramientas visuales una ayuda significativa en su proceso de aprendizaje. Por lo tanto, se puede concluir que el uso de herramientas visuales en la enseñanza de química es bien recibido por los estudiantes, y se recomienda su implementación para maximizar el interés y la comprensión en esta área.

• ¿Me gustaría participar en pruebas beta de nuevas aplicaciones educativas?

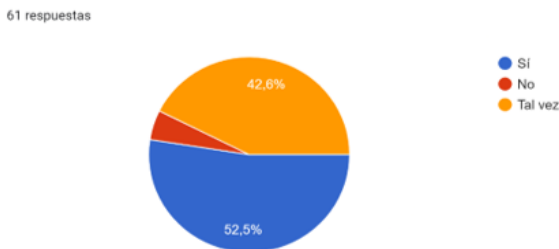


Figura 14. Participación en pruebas beta
Fuente: Los autores

Tabla 7. Participación en pruebas beta
Fuente: Los autores

Respuesta	Cantidad de Personas	Porcentaje
Sí	32	52.5%
No	3	4.9%
Tal vez	26	42.6%
Total	61	100%

Análisis:

Los resultados muestran que un 52.5% de los encuestados está

dispuesto a participar en pruebas beta de nuevas aplicaciones educativas, lo que indica un interés notable en contribuir al desarrollo y mejora de estas herramientas. Solo un 4.9% de los encuestados no estaría interesado en participar, mientras que un 42.6% se muestra indeciso con una respuesta de “tal vez”. Por lo tanto, este interés significativo en la participación sugiere que hay una oportunidad valiosa para involucrar a los usuarios en el proceso de desarrollo, lo que podría resultar en aplicaciones más efectivas y alineadas con las necesidades del público.

3.2 Percepción de la comprensión conceptual

En cuanto a la percepción de la comprensión conceptual, los estudiantes indicaron que el uso de modelos tridimensionales, simulaciones interactivas y visualización en tiempo real facilitó significativamente la comprensión de los contenidos.

Una proporción mayoritaria de los participantes manifestó que logró entender con mayor claridad conceptos que ante-riormente resultaban difíciles, como la estructura de las moléculas, los enlaces químicos y las reacciones, lo cual evidencia el valor pedagógico del entorno QuimAR.

3.3 Resultados cualitativos

Del análisis cualitativo emergieron categorías como motivación, comprensión visual, aprendizaje activo y uso de tecnología como apoyo educativo. Las opiniones de los estudiantes refuerzan los resultados cuantitativos obtenidos.

Algunos participantes expresaron:

“Con la aplicación pude entender mejor los enlaces químicos porque los veía en tres dimensiones”.

“Antes la química me parecía complicada, ahora es más entretenida y fácil de comprender”.

Estas evidencias cualitativas permiten confirmar que el entorno QuimAR no solo impacta en la motivación, sino también en la forma en que los estudiantes comprenden los contenidos de la asignatura.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que la integración de la realidad aumentada mediante el entorno QuimAR genera un impacto positivo en la motivación, el interés y la percepción de comprensión conceptual de los estudiantes de educación secundaria. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que señalan que la realidad aumentada facilita la visualización de contenidos abstractos y mejora la disposición al aprendizaje en el área de ciencias.

Asimismo, el alto nivel de aceptación del uso de aplicaciones educativas y la preferencia por entornos interactivos reflejan un cambio en las expectativas de los estudiantes frente a los métodos tradicionales de enseñanza, lo que refuerza la necesidad de incorporar estrategias didácticas innovadoras apoyadas en tecnología.

Un aporte relevante de este estudio es la integración del enfoque de Design Thinking en el desarrollo del entorno QuimAR, lo que permitió diseñar una solución centrada en las necesidades reales de los estudiantes. A diferencia de otros trabajos que se enfocan únicamente en el componente tecnológico, este estudio destaca la importancia de la participación activa de los usuarios en todas las fases del diseño, favoreciendo la usabilidad, la pertinencia pedagógica y la apropiación de la herramienta.

Desde el punto de vista pedagógico, los resultados sugieren que el uso de modelos tridimensionales, simulaciones interactivas y recursos visuales dinámicos favorece el aprendizaje activo y significativo, especialmente en contenidos complejos como enlaces químicos, estructura molecular y reacciones químicas. Esto posiciona a QuimAR como una herramienta con alto potencial para fortalecer la enseñanza de la química en el nivel secundario.

5. Conclusiones

El presente estudio permitió desarrollar y validar un entorno interactivo de realidad aumentada denominado QuimAR, diseñado mediante la metodología Design Thinking, orientado a fortalecer la enseñanza de la química en estudiantes de educación secundaria.

Los resultados evidencian un impacto positivo en la motivación, el interés y la percepción de comprensión conceptual de los estudiantes, demostrando que la integración de la realidad aumentada en el aula favorece un aprendizaje más dinámico, visual y significativo. Si bien los hallazgos son prometedores, se recomienda continuar evaluando la herramienta en contextos educativos más amplios y con diseños experimentales que permitan medir su impacto real en el rendimiento académico. QuimAR se proyecta como una alternativa innovadora, replicable y escalable para la enseñanza de la química y otras disciplinas científicas.

Agradecimientos

Agradecimiento a estudiantes y docentes de la Carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales de la Informática en Facultad de Educación de la Universidad Nacional de Chimborazo, así como a estudiantes del semillero de investigación de la Carrera.

Contribución de los autores

Guevara Alvarez Leonardo Josue: Conceptualización, Investigación, Software. **Pumaquero Cayambe Bryan Alexander:** Metodología, Recursos, Análisis formal, Redacción- Diseño Editorial. **Isín Vilema Manuel David:** Metodología, Validación, Redacción- Revisión y Edición, Supervisión – Borrador Original.

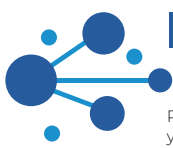
Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Bautista, L., Beltrán, B., González, M., & Cobos, H. (2023). Aprendizaje inmersivo del oficio panelero. Design Thinking aplicado al diseño de realidad virtual. *Revista UIS Ingenierías*, 1-16. Obtenido de <https://doi.org/10.18273/revuin.v22n3-2023001>
- Câmara, S., Nisi, V., & Romão, T. (2024). Experiencias interactivas de realidad aumentada para la comprensión de la química en múltiples niveles. *Revista internacional de interacción niño-ordenador*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2024.100681>
- Chonillo, L., Heredia, D., Chayña, J., Ramos, Z., & Sánchez, J. (2024). Dificultades en el aprendizaje de química en el bachillerato, desde la opinión del alumnado y algunas alternativas para superarlas. *Revista Innova Educación*. doi:<https://doi.org/10.35622/j.rie.2024.01.005>
- Colorado, J., Romero, M., Salazar, M., Cabrera, G., & Castillo, V. (2025). Análisis Comparativo de los Coeficientes Alfa de Cronbach, Omega de McDonald y Alfa Ordinal en la Validación de Cuestionarios. *studios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica*, 2738–2755. Obtenido de <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i4.836>
- Gómez, F., Gallardo, E., Toro, D., & Valderrama, D. (2024). Desarrollo de una aplicación móvil para promover el turismo en Norte de Santander integrando realidad aumentada. *Revista Colombiana de Tecnología Avanzada*, 153-159. Obtenido de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/3037>
- López, B., Sandoval, A., & Gamboa, R. (2021). Realidad aumentada como técnica didáctica en la enseñanza de temas de cálculo en la educación superior. Estudio de caso. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*. doi:<https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.890>
- Montalván-Vélez, C. L., Mogrovejo-Zambrano, J. N., Rodríguez-Andrade, A. E., & Andrade-Vaca, A. L. (2024). Adopción y Efectividad de Tecnologías





Emergentes en la Educación desde una Perspectiva Administrativa y Gerencial. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 160–172. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/92>

Roncal, L., Portal, M., Acuña, M., & Linares, M. (2024). Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en educación secundaria: una revisión sistemática. *Revista andina de educación*, 7(1), 1-8. https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/9754?utm_source=chatgpt.com

Maldonado Palacios, I.A., Vizcaíno Zúñiga, P. I., Ramón Guingla, S. J., Astudillo Astudillo, N.G. (2025). Inteligencia artificial y su impacto en la educación superior: una revisión sistemática. *Sinergia Académica*, 7(2), 111-131. <https://doi.org/10.59341/sa.v7i2.751>

Zaragoza, R., & Cuevas, A. (2020). Realidad aumentada en la enseñanza. *Revista Digital Universitaria (UNAM)*. doi:https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/a9_Realidad-aumentada-en-la-ensenanza.pdf?utm_source=chatgpt.com



Análisis y Detección de Malware en Dispositivos Android versión 15 mediante Técnicas de Ingeniería Inversa

Malware Analysis and Detection in Android 15 Devices through Reverse Engineering Techniques

Autores

Anthony Alexander Contreras Espinoza^{1*} 

✉ acontrera3@utmachala.edu.ec

Joofre Antonio Honores Tapia¹ 

✉ jhonores@utmachala.edu.ec

Milton Rafael Valarezo Pardo¹ 

✉ mvalarezo@utmachala.edu.ec

Tania Yesminia Contreras Alonso² 

✉ ingtaniacontreras@gmail.com

¹ Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Carrera de Tecnologías de la Información, Machala, El Oro, Ecuador.

² Unidad Educativa Ismael Pérez Pazmiño, Machala, El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Contreras Espinoza, A.A., Honores Tapia, J.A., Valarezo Pardo, M.R. & Contreras Alonso, T.Y. 2026. Análisis y Detección de Malware en Dispositivos Android versión 15 mediante Técnicas de Ingeniería Inversa. *Informática y Sistemas*, 10(1), 24-39. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.8098>

Enviado: 15/12/2025

Aceptado: 27/01/2026

Publicado: 30/01/2026

Resumen

El presente artículo describe un estudio de caso de análisis y detección de malware en dispositivos Android, centrado en la aplicación de IPTV MagisTV ejecutada en Android 8 y Android 15. MagisTV se eligió como unidad de análisis por su amplio uso, la solicitud de permisos sensibles y la generación intensiva de tráfico de red potencialmente abusivo. Se emplea un enfoque híbrido guiado por ingeniería inversa que combina análisis estático del Manifest, componentes, bibliotecas nativas y APIs sensibles con análisis dinámico del comportamiento en escenarios controlados de uso: arranque, inicio de sesión, navegación por menús, reproducción de video en streaming, uso en segundo plano, cierre forzado y reinicio, operaciones de almacenamiento, pruebas de persistencia y evaluación de la interceptación TLS. La metodología se apoya en herramientas especializadas (MobSF, Apktool, Androguard, JADX, ADB/logcat, monkey/UIAutomator, tcpdump, Wireshark y mitmproxy) y en la captura sistemática de trazas de red y eventos del sistema, manteniendo trazabilidad entre lo observado en el código y en la ejecución. Los resultados muestran que MagisTV presenta una superficie de permisos amplia y una arquitectura compleja, pero que en los escenarios probados se comporta como un cliente de IPTV sin uso efectivo de cámara o micrófono ni autoarranque tras el reinicio, con diferencias de observabilidad entre Android 8 y Android 15 debidas al endurecimiento de la plataforma. El estudio resalta la importancia de integrar evidencia estática y dinámica y de considerar la versión de Android como contexto para la detección explicable y la formación en análisis de malware móvil.

Palabras clave: Android; malware; ingeniería inversa; análisis estático y dinámico; MagisTV

Abstract

This article presents a case study on malware analysis and detection in Android devices, focusing on the IPTV application MagisTV running on Android 8 and Android 15. MagisTV was selected as the unit of analysis due to its widespread use, its request for sensitive permissions and its intensive, potentially abusive network traffic. A hybrid, reverse-engineering-guided approach is used, combining static analysis of the Manifest, components, native libraries and sensitive APIs with dynamic analysis of runtime behaviour under controlled usage scenarios: startup, login, menu navigation, video streaming, background use, forced close and restart, storage operations, persistence test and TLS interception attempts. The methodology relies on specialised tools (MobSF, Apktool, Androguard, JADX, ADB/logcat, monkey/UIAutomator, tcpdump, Wireshark and mitmproxy) and on the systematic capture of network traces and system events, preserving end to end traceability between code level findings and observable behaviour. The results show that MagisTV exhibits a broad permission surface and complex architecture, but that in the tested scenarios it behaves as an IPTV client, without effective use of camera or microphone and without auto start after reboot, while still maintaining continuous or intermittent communications depending on the Android version. The comparison between Android 8 and Android 15 highlights differences in observability linked to platform hardening, particularly in storage access and background execution. The study underscores the importance of integrating static and dynamic evidence and of explicitly considering the Android version as contextual information for explainable detection and for the design of educational labs in mobile malware analysis.

Keywords: Android; malware; reverse engineering; static and dynamic analysis; MagisTV



1. Introducción

En términos generales, el malware se refiere a software con fines no autorizados o maliciosos, capaz de degradar el rendimiento del sistema operativo, alterar sus servicios y comprometer la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información que gestiona (Almomani et al., 2022; Smmarwar et al., 2024). En el ámbito móvil, la masificación de los smartphones ha hecho posible la aparición de múltiples sistemas operativos, siendo los más representativos iOS, Android (incluyendo derivados como Fire OS de Amazon), HarmonyOS y, en menor medida, plataformas como KaiOS; sin embargo, el que representa alrededor del 76% del mercado global de sistemas operativos móviles es Android, que desde la versión 5.0 (Lollipop) ha incorporado de forma continua actualizaciones en la interfaz de usuario, los servicios del sistema, la gestión de la privacidad y los mecanismos de seguridad, reforzadas en versiones posteriores hasta Android 15, lo que trae consigo múltiples preocupaciones precisamente por ser uno de los sistemas operativos más utilizados. La distribución global de sistemas operativos móviles se presenta en la Figura 1.

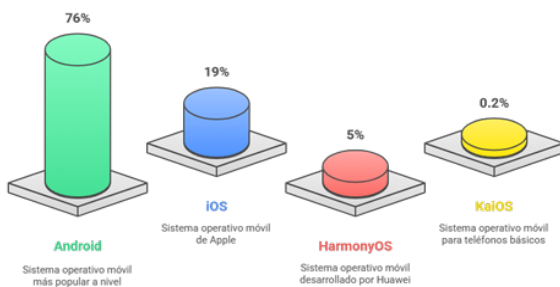


Figura 1. Sistemas operativos móviles más usados a nivel global.

Fuente: Los autores.

Esta posición dominante ha convertido a Android en un objetivo prioritario para atacantes, que despliegan familias de malware como adware, troyanos bancarios, ransomware o spyware, aprovechando permisos sensibles, llamadas a API críticas y, en variantes más avanzadas, técnicas de ofuscación, carga dinámica y código nativo (Aamir et al., 2024; Almomani et al., 2022). Frente a este escenario, la literatura reciente coincide en que los permisos declarados en el Manifest y determinadas llamadas a API proporcionan una señal explicable para modelar riesgo, que los enfoques híbridos (análisis estático + dinámico) capturan mejor el comportamiento real que el análisis estático aislado, y que las representaciones estructurales del código en forma de grafos procesadas con redes neuronales de grafos (GNN) incrementan la robustez frente a variantes y ofuscación

al explotar relaciones semánticas más estables (Gao et al., 2021; Muzaffar et al., 2022; Palma et al., 2023).

A pesar de estos avances, buena parte de los trabajos se apoya en grandes conjuntos de datos públicos y en versiones anteriores de Android, priorizando la construcción de clasificadores sobre vectores de características (permisos, APIs, tráfico de red, system calls) más que el estudio detallado, mediante ingeniería inversa, de cómo se manifiesta una misma amenaza en entornos concretos (Muzaffar et al., 2022; Pathak et al., 2024). Son escasas las demostraciones comparativas y controladas que conecten, con trazabilidad de extremo a extremo, los permisos y llamadas a API extraídos del código con el tráfico de red y los perfiles de system calls observados al ejecutar la misma APK maliciosa en versiones con distinto nivel de protección, por ejemplo, Android 8 frente a Android 15, a pesar de la relevancia de estos observables para caracterizar categorías y patrones de comportamiento malicioso (Gohari et al., 2021; Manzil & Manohar Naik, 2023). En síntesis, existe un vacío de investigación relacionado con estudios comparativos controlados que vinculen de manera sistemática los hallazgos del análisis estático y dinámico de una misma aplicación maliciosa entre versiones de Android con diferente nivel de seguridad. En este trabajo se aborda esa brecha mediante el análisis, estático y dinámico, de una única aplicación de IPTV considerada maliciosa en nuestro escenario experimental, MagisTV, ejecutada en Android 8 y Android 15.

Se plantea la hipótesis de que un enfoque híbrido guiado por ingeniería inversa, integrando un análisis estático (permisos, llamadas a API y artefactos recuperados tras deofuscación) y una validación dinámica (tráfico de red y system calls) aplicado a la APK MagisTV, permitirá identificar y explicar de forma consistente los indicadores de comportamiento malicioso en un escenario comparativo en las versiones Android 8 y Android 15.

En coherencia con esta hipótesis, el objetivo general del estudio es analizar la APK de MagisTV al ejecutarse en las versiones 8 y 15 del sistema operativo Android, mediante herramientas de ingeniería inversa como JADX, Apktool, Androguard y MobSF, para detectar y explicar los indicadores maliciosos generados.

En este contexto, el aporte de este estudio son tres hallazgos. Primero, se diseña y ejecuta un experimento controlado en el que la APK de MagisTV es analizada y ejecutada en Android 8 y Android 15, permitiendo contrastar cómo las mejoras de la plataforma afectan la observabilidad del comportamiento malicioso. Segundo, se integra en un único flujo un análisis estático guiado por ingeniería inversa, mediante herramientas como JADX (decompilación de bytecode Dalvik/ART a código Java), Apktool (reconstrucción de AndroidManifest.xml y código Smali), Androguard (análisis de bytecode y, cuando procede,

grafos de llamadas) y MobSF (marco automatizado para análisis estático y dinámico de APKs), con una validación dinámica basada en ejecución controlada a través de ADB/logcat y generación de tráfico en emuladores o dispositivos, junto con captura y análisis de trazas de red (PCAP) mediante herramientas como tcpdump, Wireshark o man-in-the-middle proxy, manteniendo la trazabilidad entre lo inferido en el código y lo observado en tiempo de ejecución (Chen et al., 2021; Gohari et al., 2021). Tercero, se analizan las implicaciones de estos hallazgos para la detección explicable de malware móvil a la luz del estado del arte en aprendizaje automático, enfoques híbridos y representaciones estructurales de aplicaciones Android, resaltando el papel de los permisos y de las características semánticas como elementos clave para la interpretabilidad del modelo de riesgo (Almomani et al., 2022; Gu et al., 2024; Palma et al., 2023).

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en un entorno doméstico controlado, ubicado en Pasaje (Ecuador), durante el período de septiembre a noviembre de 2025, con una duración total de 12 semanas, con el objetivo de analizar, bajo condiciones reproducibles, el comportamiento de una misma APK MagisTV en dos versiones del sistema operativo Android. Se seleccionó, mediante muestreo intencional, la APK MagisTV como caso instrumental para el análisis comparativo entre Android 8 y Android 15, y su inclusión se supeditó a que fuera instalable y ejecutable en ambos entornos, permitiera la extracción estática de artefactos clave (AndroidManifest.xml y código Smali/bytecode) y generara trazas dinámicas observables (tráfico de red y system calls) en condiciones controladas. Se registraron metadatos básicos y el hash SHA-256 para asegurar trazabilidad y reproducibilidad, conforme a recomendaciones habituales en estudios de malware Android (Muzaffar et al., 2022; Pathak et al., 2024).

2.1 Diseño del estudio y enfoque comparativo

Se empleó un diseño cuasi-experimental comparativo con dos condiciones de sistema operativo: Android 8 (Dispositivo A) y Android 15 (Dispositivo B). La unidad de análisis es una única aplicación de IPTV, MagisTV, considerada maliciosa en el escenario experimental por su capacidad de solicitar permisos sensibles y ejecutar tráfico de red potencialmente abusivo. El enfoque es aplicado, cuantitativo e híbrido: combina análisis estático guiado por ingeniería inversa (permisos del Manifest, llamadas a APIs sensibles y artefactos asociados a ofuscación/deofuscación) con observación dinámica del comportamiento en ejecución (tráfico de red y system calls), en línea con trabajos que resaltan la utilidad de integrar evidencias estáticas y dinámicas en la detección de malware en Android (Almomani et al., 2022; Gohari et al., 2021; Muzaffar et al., 2022).

En este marco, la versión de Android (8 vs 15) se define como variable independiente, mientras que las variables dependientes agrupan indicadores estáticos (permisos, APIs, señales de

ofuscación) y dinámicos (flujo de red y patrones de system calls). El objetivo del diseño comparativo es evaluar cómo las diferencias de seguridad entre Android 8 y Android 15 afectan la observabilidad y la expresión de comportamientos maliciosos de una misma APK bajo condiciones controladas (Palma et al., 2023).

2.2 Entorno de evaluación y herramientas

El entorno de evaluación se estructuró alrededor de un host de orquestación con Kali Linux, encargado de gestionar la instalación, ejecución y monitorización de la APK MagisTV en dos dispositivos físicos reales: Samsung Galaxy J7 Prime (SM-G610M) con Android 8.1.0 (Dispositivo A; revisión de seguridad: 1 de junio de 2020) e Infinix Note 40 Pro (X6850) con Android 15 (Dispositivo B; actualización de seguridad: 1 de octubre de 2025). En ambos casos, los equipos se mantuvieron sin acceso root (no rooteados) para preservar condiciones de operación cercanas a un entorno real. Con el fin de centralizar la observación y mejorar la reproducibilidad, se habilitaron las opciones de desarrollador, incluyendo depuración USB/ADB, y se mantuvo desactivado el desbloqueo de OEM en ambos dispositivos, evitando modificaciones de arranque durante el periodo experimental. Adicionalmente, se configuró en Kali Linux un punto de acceso (hotspot) al cual se conectaron ambos dispositivos durante las sesiones experimentales, permitiendo la captura de tráfico sin exponer sistemas externos. Sobre este host se instalaron las herramientas de análisis estático MobSF, Apktool, Androguard y JADX, utilizadas de forma complementaria para escanear la APK, descompilar el paquete, recuperar el AndroidManifest.xml y el código Smali/bytecode, extraer características estructuradas (permisos, APIs, componentes) y revisar manualmente fragmentos de código descompilado cuando fue necesario (Palma et al., 2023; Pathak et al., 2024). El flujo del análisis estático inicial con MobSF se resume en la Figura 2, y el conjunto de herramientas de ingeniería inversa para el análisis detallado se muestra en la Figura 3.



Figura 2. Flujo de análisis estático inicial con MobSF.

Fuente: Los autores.



Figura 3. Conjunto de herramientas de ingeniería inversa para el análisis estático detallado.

Fuente: Los autores.

Para el análisis dinámico se emplearon ADB y logcat en la gestión de instalación, control y registro de eventos, mientras que monkey/UIAutomator permitieron generar secuencias de interacción reproducibles sobre la aplicación. La captura de tráfico se realizó con tcpdump y Wireshark, complementadas con mitmproxy cuando fue necesario inspeccionar tráfico HTTP(S) y derivar flujos a formatos compatibles con herramientas de extracción de características como CICFlowMeter (Gohari et al., 2021). La automatización de tareas repetitivas se apoyó en scripts bash y python, y, cuando se requirió evaluar resistencia a técnicas como certificate pinning, se utilizó Frida para instrumentar la aplicación en tiempo de ejecución, siguiendo prácticas habituales en la caracterización dinámica de malware Android (Manzil & Manohar Naik, 2023). Las herramientas empleadas, junto con su versión y propósito, se resumen en la Tabla 1. El conjunto de herramientas de captura y análisis dinámico se presenta en la Figura 4.

2.3 Procedimiento general por fases

El estudio se organizó en fases secuenciales para garantizar la trazabilidad de todo el proceso, desde la preparación del entorno hasta la comparación de los resultados entre Android 8 y Android 15 utilizando la misma APK (MagisTV). La estructura metodológica se resume en la Figura 5.

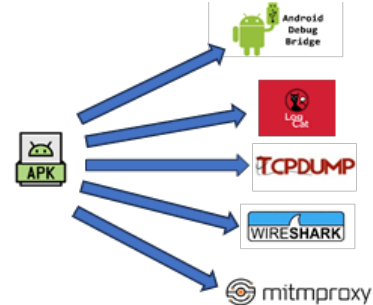


Figura 4. Herramientas de captura y análisis dinámico de tráfico y eventos.



Figura 5. Estructura metodológica de 8 fases para el análisis cuasi-experimental de la aplicación.

Fuente: Los autores.

Tabla 1. Herramientas, versiones y propósito en el estudio.

Fuente: Los autores.

Herramienta	Versión	Propósito en el estudio
MobSF	V4.4.3	Análisis estático automatizado (puntuación de seguridad, permisos, componentes, SDKs).
Apktool	2.7.0	Desempaquetado y extracción de recursos/AndroidManifest; soporte a ingeniería inversa.
JADX	1.5.3	Decompilación y revisión del código; búsqueda dirigida de llamadas a API/patrones sensibles.
Androguard	3.4.0a1	Extracción programática de metadatos y apoyo en análisis estático.
ADB	1.0.41	Instalación/ejecución controlada, gestión de pruebas y recolección de evidencias.
Logcat	1.0.41	Registro de eventos del sistema y trazas durante la ejecución.
UIAutomator	Android 8.1.0: v1.0 + (API 27). Android 15: v2.0 + (API 35).	Automatización de interacción (escenarios reproducibles de uso).
Monkey	Android 8.1.0: Integrada (API 27). Android 15: Integrada (API 35).	Generación de estímulos/eventos de UI para explorar rutas de ejecución.
Tcpdump	4.99.5	Captura de tráfico de red en el dispositivo (PCAP).
Wireshark	4.4.9	Inspección y análisis del tráfico capturado (PCAP).
CICFlowMeter	0.5.0	Transformación de PCAP a flujos y métricas cuantitativas para comparación.
Mitmproxy	12.2.0	Intercepción/observación de tráfico HTTP(S) en laboratorio cuando la aplicación lo permite.
Frida	17.5.2	Instrumentación dinámica puntual para observación de funciones y comportamientos (cuando aplica).

Fase 1. Planificación y diseño comparativo.

Definición de la hipótesis y de las variables del estudio: versión de Android (8 vs 15) como variable independiente; indicadores estáticos (permisos, APIs, artefactos de ofuscación/deofuscación) e indicadores dinámicos (tráfico de red y system calls) como variables dependientes. Se establecieron los criterios de inclusión de la APK y los lineamientos para asegurar que las condiciones de prueba fueran comparables entre ambos dispositivos.

Fase 2. Preparación del entorno.

Se configuró el host de orquestación (Kali Linux), se habilitó un punto de acceso (hotspot) y se conectaron los dispositivos físicos (Android 8 y Android 15) a dicha red de laboratorio. Las pruebas se realizaron sin privilegios de root en ambos dispositivos, habilitando únicamente opciones de desarrollador y depuración USB para la instrumentación. Se instalaron y verificaron las herramientas de análisis estático (MobSF, Apktool, Androguard, JADX) y dinámico (ADB, logcat, monkey/UIAutomator, tcpdump y Wireshark, mitmproxy), así como los scripts auxiliares de automatización necesarios para repetir de forma consistente las sesiones de prueba en ambos entornos.

Fase 3. Adquisición y verificación de la APK.

La APK bajo estudio MagisTV se obtuvo desde un sitio web público del distribuidor donde actualmente la aplicación se presenta bajo la denominación Xuper TV (marca empleada en la distribución pública vigente; no se identificó un repositorio oficial verificable de "MagisTV" en tiendas oficiales para la muestra analizada). Con fines de reproducibilidad, se documentó el URL de la página de referencia <https://es.coimobile.io/download/xuper-tv-33978/>, consulta:01-10-25, y se aseguró la trazabilidad la posibilidad de actualización obligatoria de la aplicación; en el caso de MagisTV, al intentar su ejecución se produjo una migración desde la versión 6.4.2 hacia 6.5.2 el 12-11-2025 (15:00), por lo que la evidencia dinámica reportada en este estudio corresponde a la versión efectiva en ejecución tras dicha actualización. En adelante, se denomina MagisTV v6.4.2 (estático) al artefacto analizado estáticamente y MagisTV v6.5.2 (dinámico) a la versión observada en ejecución.

Fase 4. Análisis estático guiado por ingeniería inversa.

Se realizó la ejecución de MobSF sobre la APK para obtener un primer informe de permisos, componentes y posibles indicadores de riesgo, a su vez se realizó descompilación con Apktool para recuperar el archivo AndroidManifest.xml y el código Smali, complementada con Androguard para la extracción de características estructurales (permisos, APIs sensibles, relaciones entre componentes) y con JADX para la revisión manual del código decompilado cuando se requirió refinar la interpretación. En esta fase se consolidó un conjunto de indicadores estáticos (vector de permisos, listas de APIs críticas, evidencia de ofuscación/deofuscación) que servirán como base para la comparación entre Android 8 y Android 15 (Palma et al., 2023; Pathak et al., 2024).

Fase 5. Instrumentación dinámica y generación de estímulos.

Instalación de la APK de MagisTV en los dispositivos A y B, configuración de ADB y logcat, y definición de guiones de interacción reproducibles mediante monkey/UIAutomator (por ejemplo, secuencias de navegación típicas dentro de la aplicación). Cada sesión se ejecutó bajo condiciones controladas, asegurando que las acciones realizadas fueran equivalentes en Android 8 y Android 15 de modo que las diferencias observadas pudieran atribuirse principalmente a la versión del sistema y no a variaciones en el uso (Gohari et al., 2021).

Se seleccionaron los escenarios dinámicos con criterios de representatividad funcional y cobertura de superficie de riesgo, buscando reproducir el recorrido típico de una aplicación IPTV y, a la vez, activar condiciones en las que suele manifestarse comportamiento malicioso (comunicación de red, ejecución en segundo plano, persistencia y acceso a almacenamiento).

Con este criterio, los guiones automatizados abarcaron once situaciones: actualización inicial, arranque, inicio de sesión, navegación por menús, reproducción de canal (streaming), uso en segundo plano, cierre forzado y reinicio, operaciones de lectura/escritura en almacenamiento, verificación de uso efectivo de cámara y micrófono, persistencia tras reinicio (autoarranque) e interceptación/evasión de TLS. Se priorizó un conjunto acotado y repetible para mantener la comparabilidad entre Android 8.1.0 y Android 15, y se excluyeron interacciones no soportadas por la aplicación o que no aportan señales adicionales a las variables medidas.

Fase 6. Captura de tráfico y eventos de sistema.

Durante las sesiones dinámicas se capturó tráfico de red en formato PCAP mediante tcpdump y se analizaron las trazas con Wireshark y, cuando fue necesario, con mitmproxy para inspeccionar tráfico HTTP(S). De forma paralela, se registraron eventos relevantes mediante logcat y, cuando el dispositivo lo permitió, se recogió información sobre system calls asociadas a la ejecución de la aplicación, siguiendo enfoques que combinan tráfico y llamadas al sistema como observables complementarios del comportamiento malicioso (Gohari et al., 2021; Manzil & Manohar Naik, 2023).

Fase 7. Transformación y organización de datos.

Los archivos PCAP se transformaron en vectores de flujo mediante herramientas de extracción de características de red (por ejemplo, CICFlowMeter), generando descriptores como número de paquetes, bytes transferidos, duración de las conexiones y puertos/protocolos utilizados. Las system calls y eventos registrados se agregaron en forma de frecuencias o secuencias resumidas por sesión para cada versión de Android. En paralelo, los resultados del análisis estático (permisos, APIs, evidencias de ofuscación) se estructuraron en tablas comparativas, manteniendo siempre la asociación con la única muestra analizada (MagisTV).



Fase 8. Integración y comparación Android 8 vs 15.

Finalmente, se integraron los indicadores estáticos y dinámicos en un esquema de análisis comparativo, contrastando cómo la misma APK expresa sus permisos, APIs sensibles, patrones de tráfico y eventos del sistema en Android 8 frente a Android 15. Esta fase incluyó la elaboración de tablas y gráficos de diferencias y la interpretación de los hallazgos a la luz del estado del arte sobre análisis estático, dinámico e híbrido en malware Android, con el fin de evaluar la hipótesis y valorar el impacto de la versión del sistema en la observabilidad del comportamiento malicioso (Gohari et al., 2021; Muzaffar et al., 2022).

2.4 Variables y medidas

La variable independiente fue la versión del sistema operativo Android con dos niveles: Android 8 (Dispositivo A) y Android 15 (Dispositivo B), que representan distintos grados de endurecimiento de la plataforma y de sus mecanismos de seguridad (Muzaffar et al., 2022).

Las variables dependientes estáticas se definieron a partir de la ingeniería inversa de la APK MagisTV e incluyeron: Primero, un vector binario de permisos declarados en el `AndroidManifest.xml`; Segundo, el conteo y la categorización de llamadas a APIs sensibles, agrupadas en familias funcionales relevantes para la detección explicable de malware; y Tercero, la presencia de indicios de ofuscación y, cuando procedió, de componentes nativos (.so) con potencial asociación a vulnerabilidades conocidas (CVE/CVSS) (Chen et al., 2021; Palma et al., 2023; Sanna et al., s. f.).

Las variables dependientes dinámicas se derivaron de las trazas de ejecución y abarcaron características de flujo de red obtenidas a partir de archivos PCAP (número de flujos, volumen de tráfico, puertos y protocolos utilizados, duración de conexiones) y frecuencias de system calls y eventos relevantes en logcat, de acuerdo con enfoques que combinan tráfico y llamadas al sistema como observables complementarios del comportamiento malicioso (Gohari et al., 2021; Manzil & Manohar Naik, 2023). A partir de estos indicadores se calcularon diferencias absolutas y relativas entre Android 8 y Android 15, con el fin de contrastar la hipótesis (H1) sobre el impacto de la versión del sistema en la observabilidad y explicabilidad del riesgo asociado a la APK MagisTV (Muzaffar et al., 2022).

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección

En el análisis estático, la recolección de datos se basó en la

extracción automatizada de permisos, componentes y llamadas a APIs sensibles de la APK MagisTV utilizando MobSF, Apktool y Androguard. Los reportes generados por estas herramientas se exportan a formatos tabulares (por ejemplo, archivos CSV de permisos y APIs) que permitieron cuantificar y comparar de forma estructurada los indicadores estáticos entre Android 8 y Android 15 (Palma et al., 2023; Pathak et al., 2024).

Para el análisis dinámico, se generaron capturas de tráfico de red (PCAP) mediante tcpdump y Wireshark, complementadas con mitmproxy cuando fue necesario inspeccionar tráfico HTTP(S), mientras que ADB/logcat se empleó para registrar eventos del sistema durante sesiones de uso reproducibles inducidas con monkey/UIAutomator. Cuando el dispositivo lo permitió, se recogió información de system calls asociadas a la ejecución de la aplicación, siguiendo trabajos que combinan tráfico y llamadas al sistema como fuentes complementarias de observación del comportamiento malicioso (Gohari et al., 2021; Manzil & Manohar Naik, 2023; Muzaffar et al., 2022).

2.6 Procesamiento y representación de datos

Los archivos PCAP obtenidos en cada sesión se procesaron con herramientas de extracción de características de flujo (por ejemplo, CICFlowMeter) para generar vectores que resumen, por flujo y por sesión, métricas como número de paquetes, volumen de datos, duración de conexiones y puertos/protocolos utilizados (Gohari et al., 2021). Las system calls y eventos relevantes registrados mediante logcat se agregaron en forma de frecuencias por tipo de llamada y por escenario (Android 8 vs Android 15), constituyendo descriptores compactos del comportamiento dinámico de la aplicación (Manzil & Manohar Naik, 2023).

En paralelo, los resultados del análisis estático se representaron como vectores y tablas: un vector binario de permisos declarados en el `AndroidManifest.xml`, listas de APIs sensibles agrupadas por categoría funcional y marcadores cualitativos de ofuscación y presencia de código nativo. Esta representación homogénea de indicadores estáticos y dinámicos facilitó la elaboración de comparaciones directas entre versiones del sistema y la integración de ambas perspectivas en el análisis final (Gao et al., 2021; Muzaffar et al., 2022; Palma et al., 2023).

2.7 Modelado y estrategias de fusión

Dado que el objetivo principal del estudio no es proponer un nuevo clasificador generalista, sino analizar de forma explicable el comportamiento de una APK específica en dos versiones de Android, el “modelado” se planteó como una integración

analítica de tres vistas: Primero, una vista estática basada en permisos y APIs sensibles; Segundo, una vista dinámica basada en características de flujo de red y system calls; y Tercero, una vista estructural opcional, en la que se organizaron relaciones App-API/API-API como grafos conceptuales para apoyar la interpretación de fragmentos críticos de código (Gao et al., 2021; Palma et al., 2023).

En lugar de optimizar modelos de aprendizaje automático a gran escala, se exploraron esquemas sencillos de fusión temprana (comparación conjunta de indicadores estáticos y dinámicos) y fusión tardía (contraste de hallazgos procedentes de cada vista), tomando como referencia taxonomías recientes que muestran las ventajas de combinar fuentes estáticas, dinámicas y estructurales en la caracterización de malware Android (Muzaffar et al., 2022; Xu et al., 2023).

2.8 Evaluación, métricas y análisis comparativo

La evaluación se centró en comparar, de manera descriptiva y explicable, los indicadores estáticos y dinámicos obtenidos por la APK MagisTV en Android 8 y Android 15. Se elaboraron tablas y gráficos que recogen diferencias absolutas y relativas en el perfil de permisos y APIs sensibles, en los patrones de tráfico de red (número de flujos, volumen de datos, destinos y puertos) y en la intensidad/diversidad de system calls y eventos registrados por logcat entre ambos entornos (Gohari et al., 2021; Manzil & Manohar Naik, 2023).

Aunque no se planteó como objetivo principal la construcción de un modelo predictivo, en algunos casos se ensayaron reglas simples de decisión (por ejemplo, presencia simultánea de determinados permisos y patrones de tráfico) para ilustrar su capacidad de señalar comportamiento malicioso. Para estas reglas, cuando fue pertinente, se calcularon métricas básicas (como tasas de acierto o de falsos positivos/negativos) a modo ilustrativo, tomando como referencia la forma en que la literatura evalúa sistemas de detección de malware basados en características estáticas y dinámicas (Muzaffar et al., 2022; Palma et al., 2023).

2.9 Reproducibilidad y consideraciones éticas

Para favorecer la reproducibilidad, se fijaron semillas aleatorias cuando procedió (por ejemplo, en la generación de estímulos con monkey), se versionaron los scripts utilizados para automatizar la instalación, ejecución y recolección de datos, y se mantuvo una estructura de carpetas estandarizada que agrupa, para cada escenario (Android 8 y Android 15), los reportes estáticos, matrices de características, archivos PCAP y registros de logcat/system calls. Además, se documentó el hash SHA-256 de la APK MagisTV y las versiones de las herramientas empleadas, en línea con las buenas prácticas descritas en estudios sobre generación de datasets y experimentos de malware Android (Muzaffar et al., 2022; Pathak et al., 2024).

Las pruebas se realizaron en un entorno doméstico controlado en Pasaje (Ecuador), utilizando dispositivos físicos dedicados y una red de pruebas mediante un punto de acceso configurado en Kali Linux. La APK se ejecutó exclusivamente con fines académicos y de investigación, evitando cualquier distribución o uso que vulnerara derechos de autor o políticas de plataformas oficiales. Se siguieron buenas prácticas éticas en el manejo de tráfico y registros, descartando cualquier dato que pudiera corresponder a información personal real y limitando el análisis a los flujos generados por la propia aplicación bajo condiciones controladas (Gohari et al., 2021).

3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados del análisis estático guiado por ingeniería inversa

3.1.1 Evaluación global de seguridad con MobSF

El análisis estático automatizado de la APK de IPTV MagisTV (versión 6.4.2, paquete com.msandroid.mobile), ejecutado con MobSF, arrojó una puntuación de seguridad de 52/100, que sitúa a la aplicación en un nivel de riesgo medio. La tarjeta de puntuación de MobSF reportó 2 hallazgos de severidad alta, 14 de severidad media y 1 hotspot asociado a 9 permisos críticos, junto con 2 ítems clasificados como seguros (ausencia de rastreadores de privacidad y desactivación de configuración remota).

Los hallazgos de mayor severidad se relacionan con la posibilidad de instalar la aplicación en versiones de Android vulnerables o sin parches y con la habilitación explícita de tráfico en texto claro. Entre los hallazgos de nivel medio destacan advertencias sobre el esquema de firma, actividades con modos de lanzamiento potencialmente inseguros y posibles secretos embebidos en el código. En conjunto, estos resultados señalan que el riesgo se concentra en la configuración de la aplicación y en el uso de permisos sensibles, más que en técnicas avanzadas de evasión. Los principales hallazgos del análisis estático con MobSF se sintetizan en la Tabla 2, y el detalle de severidad de los hallazgos reportados por MobSF se ilustra en la Figura 6.

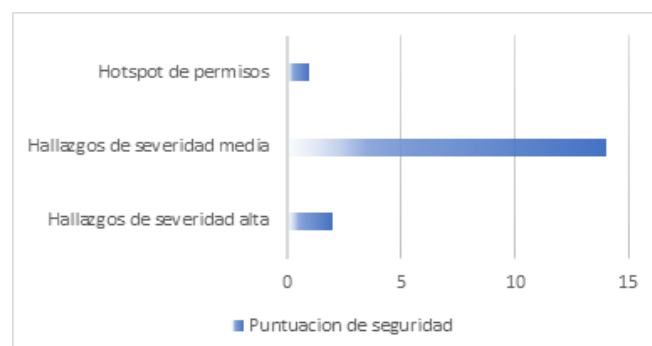


Figura 6. Puntuación de seguridad: Detalle de severidad en los hallazgos de MobSF.
Fuente: Los autores.

Tabla 2. Resumen del análisis estático de MagisTV v6.4.2 (estático) con MobSF.
Fuente: Los autores.

Categoría	Indicador	Valor
Puntuación global de seguridad	Security score (0-100)	52
Evaluación de riesgo	Riesgo global	Medio
Severidad alta	Issues “High”	2
Severidad media	Issues “Medium”	14
Hotspot de permisos	Issues “Hotspot” asociados a permisos críticos	1
Permisos críticos	Permisos marcados como críticos	9
Elementos seguros	Ítems clasificados como “Secure”	2
Trackers de privacidad	Trackers detectados	0

Desde la perspectiva de la discusión, este gráfico inicial muestra que MagisTV dispone de capacidades técnicas suficientes para impactar en la confidencialidad y en la superficie de exposición del dispositivo. La combinación de permisos críticos y configuraciones laxas justifica profundizar en el detalle del manifiesto, de la estructura interna del código y, más adelante, del comportamiento dinámico.

3.1.2 Perfil de permisos y potencial de abuso

Las distintas herramientas de análisis confirmaron la declaración de 23 permisos en el archivo AndroidManifest.xml de MagisTV. De ellos, 13 corresponden a permisos de nivel normal, 9 a permisos de nivel peligroso y 1 a un permiso de tipo propietario o no estándar. Este reparto se traduce en un predominio de permisos considerados rutinarios por la plataforma, acompañado de un bloque significativo de permisos de alto impacto.

Entre los permisos solicitados destacan los orientados a conectividad (INTERNET, ACCESS_NETWORK_STATE, ACCESS_WIFI_STATE, CHANGE_NETWORK_STATE, CHANGE_WIFI_STATE, CHANGE_WIFI_MULTICAST_STATE), almacenamiento (READ_EXTERNAL_STORAGE, WRITE_EXTERNAL_STORAGE, MANAGE_EXTERNAL_STORAGE), lectura de imágenes y audio), captura de contenido (CAMERA), notificaciones y estado del dispositivo (POST_NOTIFICATIONS, WAKE_LOCK, VIBRATE, GET_TASKS) e identificación/atribución (AD_ID, BIND_GET_INSTALL_

REFERRER_SERVICE). La sección de permisos abusados de MobSF indica, además, coincidencia con un subconjunto relevante de permisos catalogados como comunes en aplicaciones maliciosas. El conteo y la clasificación por nivel de los permisos solicitados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Conteo y clasificación de permisos por nivel y categoría funcional en MagisTV.
Fuente: Los autores.

Indicador	Conteo (n)
Permisos totales declarados	23
Permisos de nivel normal	13
Permisos de nivel peligroso	9
Permisos de tipo propietario/no estándar	1
Permisos de red	6
Permisos de almacenamiento	5
Permisos de cámara y multimedia	1
Permisos de notificación y estado del dispositivo	9
Permisos de identificación y atribución	2

Nota: Conteos obtenidos del AndroidManifest.xml de MagisTV v6.4.2 (estático) mediante MobSF; las categorías funcionales corresponden a una agrupación analítica de los permisos declarados.

La combinación de permisos de red, almacenamiento, cámara, notificaciones e instalación configura un escenario donde la aplicación podría, si el código así lo implementa, acceder de forma intensiva a datos locales, generar tráfico persistente hacia servidores externos y participar en procesos de instalación o seguimiento publicitario. Por sí solo, este perfil no prueba un comportamiento malicioso, pero sí delimita un espacio de riesgo que será contrastado con el análisis dinámico.

3.1.3 Estructura de componentes y bibliotecas nativas (Apktool)

El análisis del AndroidManifest.xml mediante Apktool reveló una arquitectura interna extensa. La aplicación declara 61 actividades, 27 servicios, 18 receptores de difusión y 4 proveedores de contenido, lo que refleja una aplicación con numerosas pantallas, flujos de navegación y tareas auxiliares. La actividad principal se marca como exportada y actúa como punto de entrada, incluyendo un deep link asociado a un esquema y dominio específicos. Otros componentes exportados se relacionan con la recepción de notificaciones o interacciones con servicios en la nube.

La mayoría de servicios y receptores figuran como no exportados, pero una parte importante pertenece a SDKs de terceros orientados a mensajería, analítica, publicidad y transmisión de contenidos. En el nivel de aplicación, el manifiesto configura `android:allowBackup="false"` y, al mismo tiempo, `android:usesCleartextTraffic="true"`, lo que protege parcialmente contra copias de seguridad no autorizadas, pero mantiene habilitado el uso de tráfico sin cifrado fuerte, ya señalado en la evaluación de riesgo de MobSF.

En el directorio `lib/` se identificaron 21 bibliotecas nativas (.so) para `armeabi-v7a` y otras 21 para `arm64-v8a`. Entre ellas figuran librerías de reproducción multimedia, gestión de fallos, comunicaciones de red y componentes asociados a SDKs de analítica. El hecho de que gran parte de la funcionalidad se delegue en código nativo y módulos externos complica el análisis y abre la puerta a vulnerabilidades o comportamientos que no son directamente visibles en el código Java. La estructura de componentes y la identificación de librerías nativas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de componentes de aplicación y librerías nativas mediante análisis estático.
 Fuente: Los autores.

Tipo de elemento	Descripción general	Cantidad
Actividades	Pantallas y flujos de interfaz	61
Servicios	Procesos en segundo plano y tareas auxiliares	27
Receptores (broadcast receivers)	Recepción de eventos y notificaciones del sistema	18
Proveedores de contenido	Exposición estructurada de datos internos	4
Bibliotecas nativas .so (armeabi-v7a)	Librerías para arquitectura de 32 bits	21
Bibliotecas nativas .so (arm64-v8a)	Librerías para arquitectura de 64 bits	21

Desde el punto de vista interpretativo, esta estructura sugiere una aplicación fuertemente modularizada, donde buena parte del comportamiento depende de servicios residentes y de componentes nativos o de terceros. Esta complejidad incrementa la superficie de ataque y refuerza la necesidad de estudiar qué módulos se activan efectivamente en cada versión de Android durante el análisis dinámico.

3.1.4 Análisis puntual de APIs y patrones sensibles con JADX

La APK de MagisTV se cargó en la interfaz gráfica de JADX para inspeccionar el código Java descompilado y buscar de forma dirigida ciertas APIs asociadas a riesgo elevado. El objetivo era identificar indicios de recolección de identificadores del dispositivo, ejecución de comandos del sistema o uso de canales de comunicación de bajo nivel.

En primer lugar, se buscó el patrón `getDeviceId`. La herramienta localizó tres coincidencias en clases de la librería `androidx.appcompat.app`, donde la llamada aparece como `KeyEvent.getDeviceId()` integrada en la lógica de tratamiento de eventos de teclado. En este contexto, el método se utiliza para obtener el identificador del dispositivo de entrada, no del módulo de telefonía, por lo que se interpreta como funcionalidad de compatibilidad de interfaz y no como recolección deliberada de identificadores persistentes del terminal. La evidencia de la API `getDeviceId` identificada en el análisis con JADX se muestra en la Figura 7.

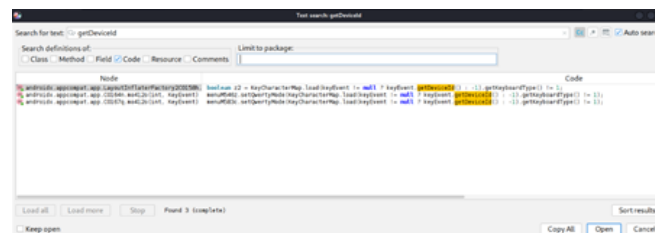


Figura 7. Evidencia de la API `getDeviceId` en JADX: Búsqueda y descarte de uso malicioso de identificadores.
 Fuente: Los autores.

A continuación, se realizaron búsquedas de otros métodos y cadenas: `getSubscriberId`, `getSimSerialNumber`, `Runtime.exec`, `ProcessBuilder`, `URLConnection`, `Socket`, `okhttp`, `REQUEST_INSTALL_PACKAGES` y `pm.installPackage`. En todos los casos, JADX reportó cero coincidencias en el código Java descompilado. Esto sugiere que la aplicación no invoca directamente, al menos en esta capa, APIs típicamente asociadas a obtención de identificadores de línea, ejecución de comandos del sistema, uso explícito de sockets de bajo nivel o gestión directa de instalaciones desde el código de alto nivel. Los resultados de la búsqueda dirigida de APIs y patrones sensibles se presentan en la Tabla 5.

Estos resultados matizan el perfil de riesgo: aunque el manifiesto otorga a la aplicación amplias capacidades, el código Java visible no revela llamadas evidentes a algunas APIs consideradas especialmente intrusivas. Esto no excluye que funciones sensibles se ejecuten en bibliotecas nativas o SDKs externos, pero sí indica que, a este nivel, los patrones clásicos de spyware o ejecución de comandos no son predominantes.

3.1.5 Análisis con Androguard y densidad de clases

Androguard se empleó para corroborar, sobre el bytecode Dalvik, los hallazgos anteriores y obtener métricas adicionales sobre la estructura interna. Tras ejecutar `AnalyzeAPK()`, la herramienta validó el paquete, procesó el manifiesto, añadió el fichero DEX y construyó referencias cruzadas. Las funciones de listado de permisos, actividades y servicios devolvieron resultados coherentes con los obtenidos por MobSF, Apktool y JADX, lo que refuerza la consistencia del recuento de componentes y del perfil de permisos.

de mantener versiones antiguas para el análisis comparativo. El comportamiento observado en la actualización forzada se resume en la Tabla 6, y el mecanismo de actualización forzada observado en ambos entornos se ilustra en la Figura 10.

Tabla 6. Resumen del comportamiento de actualización forzada.
Fuente: Los autores.

Aspecto observado	Resultado
Versión inicial	6.4.2
Versión tras actualización	6.5.2
Tipo de actualización	Forzada, en primer plano
Posibilidad de ejecutar 6.4.2	No, el binario queda sustituido
Impacto en el experimento	Las pruebas dinámicas se realizan sobre 6.5.2

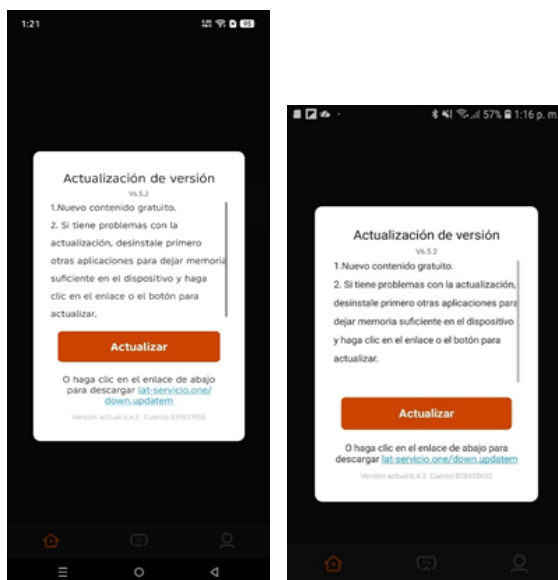


Figura 10. Mecanismo de actualización forzada de la APK que define la versión efectiva para las pruebas dinámicas. (a) Android 15; (b) Android 8.
Fuente: Los autores.

Durante el experimento, la actualización obligatoria se produjo en 12 de noviembre de 2025 a las 15:00; a partir de ese momento, todas las ejecuciones y observaciones dinámicas se realizaron sobre MagisTV v6.5.2 (dinámico), al ser la versión efectiva en ejecución tras el reemplazo del binario instalado.

No fue posible repetir el análisis estático sobre MagisTV v6.5.2 (dinámico), debido a que dicha versión no se encontraba disponible como archivo APK independiente en el momento del experimento y fue obtenida únicamente mediante actualización in-app; por tanto, no se dispone del APK v6.5.2 para calcular su SHA-256 ni para ejecutar nuevamente el pipeline estático. Como evidencia complementaria, se registró que, tras la actualización, la aplicación instalada alcanzó un tamaño aproximado de 170 MB. En consecuencia, la correlación estático-dinámico se interpreta considerando que la evidencia estática reportada corresponde a

MagisTV v6.4.2 (estático), mientras que la evidencia dinámica corresponde a MagisTV v6.5.2 (dinámico), lo que introduce una discontinuidad de trazabilidad por versión que se discute como una limitación metodológica.

3.2.2 Prueba de arranque

En la prueba de arranque se midieron los tiempos hasta la aparición de la pantalla de bienvenida y de la actividad principal. En Android 8, el sistema registra la creación del proceso MagisTV y la actividad de splash, seguida del renderizado de la actividad principal en un intervalo reducido. En Android 15 se observa un patrón similar, con tiempos de dibujo de la ventana inicial en el orden de cientos de milisegundos y una transición rápida hacia la pantalla principal. En ambos dispositivos el arranque es fluido y sin errores críticos, aunque en Android 15 se registran eventos adicionales de validación de conectividad y de gestión de rendimiento que no aparecen en Android 8. Los resultados de la prueba de arranque se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la prueba de arranque.
Fuente: Los autores.

Versión Android	Tiempo hasta splash	Tiempo splash-pantalla principal	Errores críticos
Android 8	2,0 s	3,2 s	No observados
Android 15	0,4 s	3,1 s	No observados

3.2.3 Prueba de inicio de sesión

En la prueba de inicio de sesión se ejercitó el flujo desde la pantalla de cuenta hasta la actividad de autenticación. El Android 8, logcat refleja la creación de la actividad LoginAty y la colocación de MagisTV en primer plano, acompañadas de tráfico de red asociado a la validación de credenciales. En Android 15 la transición entre AccountAty y LoginAty se registra con mayor detalle, incluyendo tiempos de muestra de la nueva ventana y mensajes de gestión de interfaz. En ninguno de los dispositivos se observan errores de autenticación ni cierres inesperados durante la prueba. Los resultados de las pruebas de inicio de sesión se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de las pruebas de inicio de sesión.
Fuente: Los autores.

Indicador	Android 8	Android 15
Actividades implicadas	LoginAty	AccountAty, LoginAty
Tiempo de cambio de actividad	0.015 s	0.145 s
Errores visibles para el usuario	No observados	No observados
Tráfico de red asociado	Bajada: 1.433 MB; Subida: 0.064 MB (PCAP)	Bajada: 0.127 MB; Subida: 0.078 MB (PCAP)

3.2.4 Prueba de navegación por menús

La prueba de navegación por menús simuló un uso típico: desplazamiento por categorías, selección de elementos y retorno a la pantalla principal. En Android 8 se observa el paso de MainAty a PlayAty, con ocultamiento de la actividad principal y creación de superficies de renderizado específicas para la reproducción, así como incrementos sostenidos en los contadores de tráfico Wi-Fi para MagisTV. En Android 15, además de la secuencia MainAty a PlayAty, el sistema registra cambios frecuentes en el pipeline gráfico y en el estado del reproductor multimedia, coherentes con la carga de listas, imágenes y vistas previas. Los resultados de la prueba de navegación por menús se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la prueba de navegación por menús.
Fuente: Los autores.

Aspecto	Android 8	Android 15
Actividades principales	MainAty, PlayAty	MainAty, PlayAty, vistas internas adicionales
Patrón de tráfico	Bajada: 225.211 MB; Subida 2.224 MB (PCAP)	Bajada: 281.597 MB; Subida: 5.087 MB (PCAP)
Estabilidad de la interfaz	0 cierres inesperados	0 cierres inesperados; mayor instrumentación gráfica

3.2.5 Prueba de reproducción de canal (streaming)

En el escenario se mantuvo un canal de IPTV activo durante 8 minutos en cada plataforma. En Android 8, los contadores de tráfico por aplicación y la captura de red evidenciaron 125.43 MB de tráfico de bajada y 1.29 MB de subida, sin errores de reproducción. En Android 15, aunque el sistema no expone contadores por aplicación en el log, la captura de red registró 124.15 MB de bajada y 2.10 MB de subida, igualmente sin interrupciones. En ambos casos, el tráfico se concentró predominantemente en flujos descendentes y el servicio se mantuvo estable, sin mensajes de error visibles, lo cual sugiere un comportamiento compatible con un cliente de IPTV convencional bajo carga sostenida. Los resultados de la prueba de reproducción de canal se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de la prueba de reproducción de canal.
Fuente: Los autores.

Versión Android	Duración (min)	Tráfico bajado	Tráfico de subida	Errores de reproducción
Android 8	8 minutos	125.43 MB (PCAP)	1.29 MB (PCAP)	No observados
Android 15	8 minutos	124.15 MB (PCAP)	2.10 MB (PCAP)	No observados

3.2.6 Pruebas de uso en segundo plano

En la prueba de uso en segundo plano se dejó MagisTV abierta, pero sin interacción, mientras se observaba su comportamiento. En Android 8, los contadores del sistema muestran que la aplicación sigue generando tráfico de red en background, con incrementos continuos de bytes enviados y recibidos durante el intervalo de observación, lo que indica mantenimiento de flujos activos pese a no estar en primer plano. En Android 15, aunque los contadores por aplicación no son visibles en el log, la captura de red evidencia que todavía se producen conexiones en ventanas breves, mientras el sistema alterna estados de congelación y descongelación del proceso para aplicar políticas de ahorro de energía. Los resultados de la prueba de uso en segundo plano se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de las pruebas de uso en segundo plano.
Fuente: Los autores.

Indicador	Android 8	Android 15
Tráfico de red en background	Bajada: 35.774 MB; Subida: 0.366 MB (PCAP)	Bajada: 39.480 MB; Subida: 0.612 MB (PCAP)
Gestión del proceso	Congelación/descongelación: 0/0	Congelación/descongelación: 2/1
Servicios de la app (NetService)	Detención por inactividad: 1	Detención por inactividad: 1

3.2.7 Pruebas de cierre forzado y reinicio

Durante el cierre forzado, la aplicación se encontraba reproduciendo contenido en primer plano. En ambos dispositivos, el cierre interrumpe de inmediato la reproducción y termina el proceso asociado a MagisTV. En Android 15, los registros incluyen anotaciones explícitas de cierre forzado y liberación de recursos, mientras que en Android 8 se limita a la finalización del proceso y las actividades. Tras el cierre, la app puede iniciarse de nuevo desde el lanzador sin errores, recreando la secuencia de splash y pantalla principal. Este escenario delimita claramente los intervalos de ejecución a considerar en el análisis de tráfico y eventos. Los resultados de la prueba de cierre forzado y reinicio se presentan en la Tabla 12.

3.2.8 Pruebas de almacenamiento (lectura/escritura)

En la prueba de almacenamiento se observó la actividad de MagisTV sobre el sistema de ficheros durante 4 minutos. En Android 8, el kernel genera un número elevado de eventos de auditoría de seguridad vinculados a accesos a ficheros, lo que sugiere intentos repetidos de lectura o escritura en rutas sujetas a políticas de SELinux. En Android 15 no se registran ese tipo

Tabla 12. Resultados de las pruebas de cierre forzado y reinicio.
Fuente: Los autores.

Aspecto	Android 8	Android 15
Efecto de cierre forzado	Fin de proceso y actividades	Fin de proceso + anotaciones de cierre
Capacidad de reinicio	Se reinicia sin errores	Se reinicia sin errores
Impacto en tráfico de red (observación en PCAP)	Corte inmediato de flujos	Corte inmediato de flujos

de eventos, pero sí llamadas frecuentes a utilidades de sistema para consultar el estado del almacenamiento y su capacidad, lo que indica un uso más ajustado a las APIs de alto nivel. Los resultados de las pruebas de almacenamiento se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de las pruebas de almacenamiento
Fuente: Los autores.

Indicador	Android 8	Android 15
Duración de la prueba	4.76 minutos	4.02 minutos
Eventos de seguridad por accesos a ficheros	1069 eventos	0 eventos
Consultas al estado de almacenamiento	21 registros	357 registros

3.2.9 Prueba de uso de cámara y micrófono

En este escenario se activaron aquellas rutas de la interfaz que, en principio, podrían conducir al uso de cámara o micrófono (búsqueda, navegación, reproducción, menús, auxiliares). Tanto en Android 8 como en Android 15, los registros se centran en eventos de interfaz, gestión de vistas y decodificación de video, sin trazas explícitas del inicio de servicios de cámara del sistema ni de componentes de captura de audio ligados a grabación. Tampoco se observaron diálogos de solicitud de permiso en tiempo de ejecución asociados a estos recursos. Los resultados de la prueba de uso de cámara y micrófono se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de las pruebas de uso de cámara y micrófono.
Fuente: Los autores.

Recurso	Android 8	Android 15
Inicialización cámara	No observada	No observada
Inicialización micrófono	No observada	No observada
Diálogos de permiso	No observados	No observados

3.2.10 Prueba de persistencia tras reinicio (autoarranque)

Para evaluar la persistencia, se reiniciaron completamente ambos dispositivos con MagisTV instalada y sesión reiniciada. Durante el arranque no se observaron procesos ni actividades de MagisTV

iniciándose de manera automática: la aplicación aparece listada como app de terceros, pero no se registran ejecuciones de servicios, receptores o actividades propios. MagisTV solo vuelve a ejecutarse cuando el usuario la abre manualmente después del boot. Los resultados de la prueba de persistencia tras reinicio se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados de la prueba de persistencia tras reinicio.
Fuente: Los autores.

Aspecto	Android 8	Android 15
Autoarranque tras reinicio	No	No
Procesos de la app durante el boot	No observados	No observados
Necesidad de acción del usuario	Sí, apertura manual	Sí, apertura manual

3.2.11 Prueba de interceptación y evasión TLS

Finalmente, se evaluó la capacidad de inspeccionar el tráfico TLS de MagisTV mediante un proxy interceptador. Con mitmproxy configurado como proxy HTTP(S) y su certificado raíz instalado en los dispositivos, la aplicación y sus componentes de red intentan establecer conexiones TLS hacia servicios externos, por ejemplo, dominios de Google, pero el handshake falla sistemáticamente por rechazo del certificado presentado por el proxy. El resultado es que el tráfico capturado corresponde a intentos de conexión TLS abortados, sin exposición del contenido de las peticiones en texto claro. Los resultados de la prueba de interceptación y evasión TLS se presentan en la Tabla 16, y la evidencia de evasión TLS observada durante la interceptación se muestra en la Figura 11.

Tabla 16. Resultados de la prueba de interceptación y evasión TLS.
Fuente: Los autores.

Dispositivo	Resultado de la interceptación	Comportamiento observado
Android 8	Fallida	Handshakes TLS abortados, sin datos en claro
Android 15	Fallida	Patrón análogo, sin diferencias relevantes

Este escenario muestra que, al menos en las versiones analizadas, el tráfico de MagisTV se protege frente a la inspección mediante proxy TLS genérico, por lo que el análisis dinámico de red debe apoyarse principalmente en metadatos de conexión (destinos, puertos, volúmenes) y no en el contenido descifrado de las comunicaciones.

3.3 Captura de eventos del sistema y tareas en segundo plano

Para completar las pruebas dinámicas, se capturaron estadísticas del programador de tareas y del gestor de paquetes del sistema, filtradas para el paquete com.msandroid.mobile. En el volcado





```
[23:18:35.449][10.42.0.218:49350] server connect you
tubei.googleapis.com:443 (216.239.32.223:443)
[23:18:35.634][10.42.0.218:49352] client connect
[23:18:35.711][10.42.0.218:49350] Client TLS handsha
ke failed. The client does not trust the proxy's cer
tificate for youtubei.googleapis.com (OpenSSL Error(
[['SSL routines', '', 'ssl/tls alert certificate unk
nown']]))
[23:18:35.712][10.42.0.218:49350] client disconnect
[23:18:35.712][10.42.0.218:49350] server disconnect
youtubei.googleapis.com:443 (216.239.32.223:443)
[23:18:35.718][10.42.0.218:49352] server connect you
tubei.googleapis.com:443 (216.239.38.223:443)
[23:18:35.862][10.42.0.218:49352] Client TLS handsha
ke failed. The client does not trust the proxy's cer
tificate for youtubei.googleapis.com (OpenSSL Error(
[['SSL routines', '', 'ssl/tls alert certificate unk
nown']]))
[23:18:35.863][10.42.0.218:49352] client disconnect
[23:18:35.863][10.42.0.218:49352] server disconnect
youtubei.googleapis.com:443 (216.239.38.223:443)
[]
```

Figura 11. Evidencia de evasión TLS: falla en el handshake debido a la desconfianza en el certificado del proxy.

Fuente: Los autores.

de trabajos programados se observan ejecuciones breves de servicios asociados a plataformas de mensajería de terceros, que se inician y detienen en distintos momentos, pero el resumen indica cero trabajos en segundo plano en ejecución en el instante de la captura.

El análisis de las tablas de resolución de actividades, receptores y servicios revela que MagisTV se integra de forma intensa con el ecosistema de eventos del sistema. Registra receptores para cambios de batería, conexión y desconexión de alimentación, estado de almacenamiento, conectividad de red, presencia del usuario y señales de arranque y cambio de hora, así como servicios dedicados a notificaciones push y a la proyección de contenido a otros dispositivos. Esta red de receptores implica que, aunque la aplicación no se autoarranque de forma visible tras el boot, dispone de múltiples puntos de enganche para activarse en respuesta a eventos del entorno. El resumen de receptores de eventos del sistema y servicios asociados se presenta en la Tabla 17.

El gestor de paquetes confirma que en ambas plataformas MagisTV declara un conjunto amplio de permisos, pero muestran diferencias en cómo el sistema aplica dichos permisos en tiempo de ejecución: Android 8 permite un mayor margen de acceso a almacenamiento externo, mientras que Android 15 refuerza restricciones y canaliza gran parte de la actividad a través de APIs de alto nivel. Esta asimetría ayuda a explicar por qué en pruebas anteriores Android 8 genera un volumen elevado de auditorías de acceso a ficheros, mientras que en Android 15 la actividad de la aplicación se refleja principalmente como consultas de estado y eventos controlados por la propia plataforma.

3.4 Limitaciones.

Este estudio se basa en un diseño de caso único centrado en una aplicación IPTV MagisTV, por lo que la generalización de los resultados debe interpretarse con cautela. Aunque el enfoque híbrido se aplicó de forma controlada en dos entornos (Android 8 y Android 15), los patrones observados pueden variar en otras familias de aplicaciones o muestras con técnicas de evasión diferentes.

Una limitación metodológica relevante deriva de la actualización obligatoria detectada durante la ejecución dinámica: el análisis estático se efectuó sobre el APK obtenido MagisTV v6.4.2 (estático), mientras que la observación dinámica se realizó sobre la versión efectiva en ejecución tras la actualización, MagisTV v6.5.2 (dinámico), el 12-11-25 a las 15:00 pm. Dado que la versión v6.5.2 se obtuvo únicamente mediante actualización in-app y no se dispuso del APK como artefacto independiente, no fue posible calcular su huella criptográfica SHA-256 ni replicar el análisis estático sobre dicha versión, lo que introduce una discontinuidad de trazabilidad por versión entre evidencia estática y dinámica.

Finalmente, el análisis dinámico se encuentra condicionado por restricciones típicas de instrumentación en entornos móviles, como la visibilidad parcial de tráfico cifrado y el alcance del estímulo automatizado sobre funciones efectivamente expuestas por la aplicación. En consecuencia, algunos comportamientos pueden no manifestarse en ausencia de disparadores específicos, por lo que se prioriza la interpretación conjunta de evidencias bajo los escenarios controlados definidos.

Tabla 17. Resumen de receptores de eventos del sistema y servicios asociados.

Fuente: Los autores.

Elemento del sistema	Android 8	Android 15	Comentario
Receptores de batería	Sí	Sí	Activación condicionada al estado de carga/batería
Receptores de almacenamiento	Sí	Sí	Monitorean umbrales de espacio disponible
Receptores de conectividad/red	Sí	Sí	Permiten reaccionar a cambios de red y presencia de usuario
Receptores de arranque/tiempo	Sí	Sí	Usados para programar trabajos y diagnósticos
Servicios de mensajería push	Sí	Sí	Canal potencial para notificaciones y activación en segundo plano
Servicios de proyección/red local	Sí	Sí	Soporte para casting y reproducción remota

4. Conclusiones

El estudio evidenció que un enfoque híbrido guiado por ingeniería inversa, que combina análisis estático del Manifest, de las llamadas a API y de la estructura interna de la APK con observaciones dinámicas de tráfico de red, registros del sistema y comportamiento en ejecución, permite caracterizar de manera entendible y explicable el perfil de riesgo de una aplicación de Android que si se recurriera únicamente a una de estas perspectivas.

La aplicación MagisTV en el análisis estático mostró una superficie de permisos amplia, una arquitectura compleja con numerosos componentes y un uso intensivo de bibliotecas nativas, lo que, en abstracto, habilita escenarios de riesgo elevados; sin embargo, las pruebas dinámicas en escenarios de uso representativos (arranque, autenticación, navegación, reproducción, segundo plano, almacenamiento, persistencia y eventos del sistema) mostraron un comportamiento consistente con el de un cliente de IPTV: no se observan usos efectivos de cámara o micrófono, no se detectó autoarranque tras el reinicio y el tráfico permaneció encapsulado en canales TLS resistentes a la inspección mediante proxy genérico. Esta combinación de hallazgos confirma la utilidad del enfoque híbrido para depurar percepciones alarmistas basadas solo en permisos y, al mismo tiempo, para documentar de manera trazable la superficie de exposición real.

La comparación entre Android 8 y Android 15 con la misma APK puso de manifiesto que la versión del sistema operativo condiciona tanto la forma en que se activan los mecanismos de seguridad como los observables disponibles para la detección; mientras Android 8 expone de manera más directa la actividad de la aplicación, con tráfico continuo en segundo plano y un volumen elevado de auditorías por acceso a ficheros; Android 15 aplica políticas más estrictas sobre almacenamiento y procesos, canaliza las operaciones a través de APIs de alto nivel y modula la ejecución mediante congelación y descongelación de aplicaciones; estas diferencias sostienen la hipótesis planteada: integrar indicadores estáticos y dinámicos en un marco comparativo mejora la capacidad de explicar el comportamiento y la superficie de riesgo frente al análisis estático aislado, y sugiere que los sistemas de detección deberían incorporar explícitamente la versión de Android como variable de contexto.

En términos prácticos, y desde la perspectiva del usuario final, los resultados de este estudio no permiten clasificar a MagisTV como malware en los escenarios ensayados, pero sí la sitúan como una aplicación de riesgo elevado: combina un conjunto amplio de permisos, una fuerte dependencia de servicios externos y un incierto tratamiento interno de datos. En consecuencia, no se considera recomendable su instalación en dispositivos que gestionen información sensible ni en entornos institucionales, en todo caso, su uso debería restringirse a dispositivos personales o de laboratorio, aislados y con controles de seguridad adicionales, por parte de usuarios que sean plenamente conscientes de las implicaciones de privacidad y exposición asociadas.

Como trabajo futuro, se plantea extender la metodología a un conjunto representativo de aplicaciones benignas y maliciosas, con el fin de evaluar su generalización y robustez frente a familias y técnicas de evasión diversas. Para analizar su escalabilidad a grandes volúmenes, se propone automatizar la extracción de características estáticas (Manifest, componentes, llamadas a API y bibliotecas nativas), la ejecución reproducible de escenarios dinámicos mediante orquestación (ADB, UIAutomator/Monkey) y la consolidación de evidencias (logcat y flujos de red derivados de PCAP) en reportes trazables por versión. No obstante, el componente dinámico mantiene un costo temporal e infraestructural significativo; por ello, resulta pertinente explorar esquemas de pre filtrado estático y priorización de casos para reducir el número de ejecuciones instrumentadas.

Contribución de los autores

Contreras Espinoza Anthony Alexander: Conceptualización, Investigación, Metodología. **Honores Tapia Joofre Antonio:** Curación de datos, Análisis formal, Administración del proyecto, Supervisión, Validación. **Valarezo Pardo Milton Rafael:** Administración del proyecto, Supervisión, Validación. **Contreras Alonso Tania Yesminia:** Administración del proyecto, Supervisión, Validación.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Aamir, M., Iqbal, M. W., Nosheen, M., Ashraf, M. U., Shaf, A., Almarhabi, K. A., Alghamdi, A. M., & Bahaddad, A. A. (2024). AMDDLmodel: Android smartphones malware detection using deep learning model. *PLOS ONE*, *19*(1), e0296722. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296722>
- Almomani, I., Ahmed, M., & El-Shafai, W. (2022). Android malware analysis in a nutshell. *PLOS ONE*, *17*(7), e0270647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270647>
- Chen, Y.-C., Chen, H.-Y., Takahashi, T., Sun, B., & Lin, T.-N. (2021). Impact of Code Deobfuscation and Feature Interaction in Android Malware Detection. *IEEE Access*, *9*, 123208-123219. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110408>
- Gao, H., Cheng, S., & Zhang, W. (2021). GDroid: Android malware detection and classification with graph convolutional network. *Computers & Security*, *106*, 102264. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102264>
- Gohari, M., Hashemi, S., & Abdi, L. (2021). Android Malware Detection and Classification Based on Network Traffic Using Deep Learning. 2021 7th International Conference





- on Web Research (ICWR), 71-77. <https://doi.org/10.1109/ICWR51868.2021.9443025>
- Gu, J., Zhu, H., Han, Z., Li, X., & Zhao, J. (2024). GSEDroid: GNN-based Android malware detection framework using lightweight semantic embedding. *Computers & Security, 140*, 103807. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.103807>
- Manzil, H. H. R., & Manohar Naik, S. (2023). Android malware category detection using a novel feature vector-based machine learning model. *Cybersecurity, 6(1)*, 6. <https://doi.org/10.1186/s42400-023-00139-y>
- Muzaffar, A., Ragab Hassen, H., Lones, M. A., & Zantout, H. (2022). An in-depth review of machine learning based Android malware detection. *Computers & Security, 121*, 102833. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.102833>
- Palma, C., Ferreira, A., & Figueiredo, M. (2023). Explainable Machine Learning for Malware Detection on Android Applications. *Information, 15(1)*. <https://doi.org/10.3390/info15010025>
- Pathak, A., Kumar, Th. S., & Barman, U. (2024). Static analysis framework for permission-based dataset generation and android malware detection using machine learning. *EURASIP Journal on Information Security, 2024(1)*, 33. <https://doi.org/10.1186/s13635-024-00182-3>
- Sanna, S. L., Soi, D., Maiorca, D., Fumera, G., & Giacinto, G. (s. f.). A risk estimation study of native code vulnerabilities in Android applications. Recuperado 29 de octubre de 2025, de <https://dx.doi.org/10.1093/cybsec/tyae015>
- Smmarwar, S. K., Gupta, G. P., & Kumar, S. (2024). Android malware detection and identification frameworks by leveraging the machine and deep learning techniques: A comprehensive review. *Telematics and Informatics Reports, 14*, 100130. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2024.100130>
- Xu, Q., Zhao, D., Yang, S., Xu, L., & Li, X. (2023). Android Malware Detection Based on Behavioral-Level Features with Graph Convolutional Networks. *Electronics, 12(23)*. <https://doi.org/10.3390/electronics12234817>



La Inteligencia Artificial para ADAS y Vehículos Autónomos. Una revisión Sistemática

Artificial Intelligence for ADAS and Autonomous Vehicles: A Systematic Review

Autores

José Andrés Murillo Vélez^{1*}

✉ jmurillo9105@utm.edu.ec



Roberth Abel Alcívar Cevallos

✉ roberth.alcivar@utm.edu.ec



¹Facultad de Ciencias Informáticas,
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo, Manabí, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Murillo Vélez, J. A., & Alcívar Cevallos, R. A. (2026). Artificial Intelligence for ADAS and Autonomous Vehicles: A Systematic Review. *Informática y Sistemas*, 10(1), 40–50. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.8063>

Enviado: 25/11/2025

Aceptado: 15/12/2025

Publicado: 25/03/2026

Resumen

Este estudio analiza la influencia de la inteligencia artificial (IA) en la transformación de la industria automotriz, centrándose en los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) y vehículos autónomos mediante una revisión sistemática de literatura basada en una metodología cualitativa y descriptiva. Se aplicó el protocolo PRISMA para garantizar un proceso riguroso y transparente en la selección y análisis de 50 artículos relevantes, extraídos de las bases de datos IEEE Xplore, Scopus y Scielo. Los resultados cuantifican que los algoritmos de aprendizaje profundo, especialmente redes neuronales convolucionales y variantes del modelo YOLO, alcanzan precisiones superiores al 90% en la detección de vehículos y objetos, con latencias inferiores a 35 ms y tasas de procesamiento sobre 30 FPS, impactando positivamente la seguridad y eficiencia de los sistemas ADAS y la conducción autónoma. No obstante, persisten limitaciones en la detección de peatones y señales, con precisiones alrededor del 30-35%, lo que destaca la necesidad de ampliar y diversificar los conjuntos de datos para entrenar estos modelos. También, se identifican desafíos críticos en términos de ciberseguridad, privacidad y robustez bajo condiciones adversas, que requieren soluciones integrales. Este trabajo aporta evidencia cuantificada que reafirma el papel fundamental de la IA en la movilidad segura y eficiente, impulsando la innovación tecnológica y señalando áreas prioritarias para futuras investigaciones.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), Ciberseguridad, Aprendizaje profundo.

Abstract

This study examines the impact of Artificial Intelligence (AI) within the automotive industry, with a special focus on Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and the development of autonomous vehicles. To address the safety limitations, present in real-world scenarios, a systematic literature review (SLR) was conducted following the PRISMA protocol, analyzing 50 articles from databases such as IEEE Xplore, Scopus, and ScELO. The results show that deep learning algorithms, particularly the YOLO variants (v2 to v11), achieve accuracy levels exceeding 90% with critical response times of less than 35 ms. However, the research also reveals a significant scientific gap: reliability decreases considerably (30-35%) in pedestrian and traffic sign detection under adverse conditions, reflecting a lack of robustness against potential cybersecurity attacks on VANETs. This work organizes and classifies these technical and organizational challenges, providing quantitative evidence that serves as a basis for outlining future lines of research in cybersecurity and in the diversification of datasets, with a view to ensuring safer autonomous mobility.

Keywords: Artificial Intelligence, Autonomous vehicles, Advanced driver assistance systems (ADAS), Cybersecurity, Deep learning.



1. Introduction

The integration of Artificial Intelligence (AI) into the automotive industry is profoundly altering transportation paradigms. Technologies such as Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and autonomous vehicles are capable of processing large volumes of data in real time to perform critical tasks related to road safety (Mitre, 2025; Neuman, 2024). However, while these advances are redefining the structure of human-machine interaction (Valencia et al., 2023), a considerable scientific challenge remains: ensuring the reliability of these systems in dynamic and challenging environments.

Artificial intelligence applications in the automotive industry are developing across various dimensions, ranging from the use of machine learning algorithms to anticipate traffic patterns to the application of natural language processing (NLP) in user interfaces. However, the main challenge lies in computer vision, as the detection of pedestrians, traffic signs, and obstacles still exhibits significant margins of error when environmental conditions are variable. While the incorporation of sensors such as LiDAR, GPS, and inertial platforms, combined through multimodal fusion algorithms, has improved spatial accuracy and enabled decision-making in milliseconds, current scientific literature does not yet offer robust validation guaranteeing the efficiency of these systems in the face of problems such as data fragmentation or attacks aimed at compromising sensor integrity. (Yurtsever et al., 2020; Feng et al., 2020). This research is justified by the need to close the gap between the theoretical capacity of algorithms and their resilient performance in real-world scenarios, an aspect where current literature does not yet offer a definitive consensus.

However, the adoption of these technologies faces barriers that are not only technical but also social and organizational. Among the most significant challenges are the shortage of professionals with dual training in automotive engineering and artificial intelligence; the reconfiguration of the labour market, which is displacing low-skilled jobs but opening up new opportunities in areas such as data analysis, cybersecurity, and software development; and the risks associated with cybersecurity, data fragmentation, and the lack of mature regulatory frameworks (Llopis-Albert et al., 2021; Tierno et al., 2025). These factors raise the need to establish robust governance and security infrastructures to ensure the reliability of smart vehicles.

In this context, this research aims to examine how artificial intelligence is transforming the automotive sector, emphasizing the identification and categorization of the main technical and organizational obstacles arising from its implementation. It also aims to contribute to applied knowledge on production efficiency,

improved vehicle quality, and market competitiveness, in addition to highlighting opportunities to optimize management and strategic decision-making in the industry (Del Coco et al., 2025).

2. Materials and Methods

This article was prepared using a mixed documentary approach, a descriptive and exploratory type of research, which allowed for an in-depth analysis and understanding of the phenomenon of artificial intelligence in the automotive industry based on a bibliographic review of secondary sources, such as scientific articles, technical reports, academic documents, and specialized publications.

The research is based on a systematic review of the applied literature in the field of artificial intelligence for the automotive industry, specifically in advanced driver assistance systems (ADAS) and autonomous vehicles. The systematic search was initially carried out on August 1, 2025, with a final update on August 15, 2025. The academic databases IEEE Xplore, Scopus and Scielo were used, applying search strings with optimized Boolean operators to maximize relevance and coverage.

The screening process was conducted using predefined inclusion and exclusion criteria, with a random audit of articles to verify consistency in the selection. For data extraction and analysis, a structured matrix was developed that included specific fields identified in the results: algorithm used, dataset used, main metrics (mAP@0.5, FPS), evaluation conditions, strengths and limitations observed, which are presented in the results in Tables 4 and 5.

To assess the methodological quality and risk of bias of the included studies, the Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) was used to evaluate studies related to visual detection performance (Hong et al., 2018). For the evidence synthesis, a narrative approach was used, complemented by tabular synthesis and vote counting techniques to assess the directionality and consistency of the results.

In Table 1 of our research on the impact of deep learning on autonomous vehicles and ADAS systems, we adopted a systematic review methodology based on the PRISMA protocol. Our starting point was three research questions focused on how deep learning algorithms and YOLO improves the performance of these systems, and what their main technical and ethical challenges are. To answer these questions, we conducted an exhaustive search of academic databases such as Scopus, IEEE Xplore, and Scielo, using keywords such as “Artificial Intelligence,” “ADAS,” and “Autonomous Vehicles.”

Table 1. Matrix of systematized operations according to the PRISMA protocol
 Source: The authors

PRISMA Protocol	Operations
Research question	<p>RQ1. How do deep learning algorithms improve the performance and speed of ADAS systems and autonomous vehicles?</p> <p>RQ2. What are the main technical, ethical, and safety challenges of AI-powered vehicles?</p> <p>RQ3. How do YOLO algorithms impact the innovation, efficiency, and safety of ADAS systems?</p>
Protocol	Compliance with inclusion and exclusion criteria (See table 2).
Search	Keywords: Artificial Intelligence, Automotive technological innovation, Driver assistance systems (ADAS), Autonomous vehicles (See Table 3).
Study selection	A polytomous distribution diagram was created representing the total number of articles found and those selected for the study (See Figure 1).
Data extraction	A comprehensive database was created with the selected scientific articles and applied extraction criteria. The data are publicly available for reproducibility according to the 2020 PRISMA guidelines https://n9.cl/pde8f .
PRISMA flowchart	<p>-Collection of literature: Literature search, identification of records using Boolean equations in Scopus, IEEE Xplore and Scielo.</p> <p>-Screening: Debugging, eliminating duplicates, and preselecting based on thematic criteria such as title and abstract.</p> <p>-Eligible: Eligibility assessment applying inclusion and exclusion criteria.</p> <p>-Inclusion: Final inclusion of studies incorporated into the final analysis (see Figure 2).</p>

Note: Adapted from the paper "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement." By (Moher et al., 2009).

Table 2 presents the inclusion and exclusion criteria used to select articles for this study. Only recent articles addressing different technological contexts were considered, to ensure the relevance and timeliness of the information. These criteria allowed us to filter and select only those scientific articles that met the established terms and conditions, thus guaranteeing the quality and relevance of the sources used for the systematic review. Table 3 presents the search strings used in the Scopus IEEE Xplore and Scielo databases, constructed with Boolean operators and optimized to maximize the precision and relevance of the results. The consistent application of these equations across the different databases ensures a comprehensive, rigorous, and representative systematic review of the state of the art in the field of study. Figure 1 presents the results obtained from the systematic review using the PRISMA protocol. It is observed that the IEEE Xplore database recorded the largest number of articles found, with a total of 32 documents, of which 25 were included in the final analysis, reflecting high productivity and thematic relevance in

Table 2. Inclusion and exclusion criteria established in the systematic review
 Source: The authors

Inclusion Criteria	Exclusion criteria
-Articles published between 2021 and 2025.	- Articles with incomplete or restricted access.
-Articles in Spanish, English and Portuguese.	- Theses, essays and publications not peer-reviewed.
-Research focused on AI, machine learning, ADAS, and autonomous vehicles.	- Articles from conferences not indexed in recognized scientific databases (Scopus, IEEE Xplore, Scielo).
-Articles that address practical or theoretical applications in automotive, efficiency, safety, or innovation.	- Duplicate documents in the same databases.
-Qualitative, quantitative or mixed studies.	- Research not directly related to AI in the automotive industry or that deals with other sectors.

Table 3. PRISMA search equations and Boolean operators by database
 Source: The authors

Search String	Journal
("Artificial Intelligence" AND "automotive innovation") OR ("ADAS" OR "driver assistance systems") OR ("autonomous vehicles")	IEEE Xplore
("Artificial Intelligence" OR "Artificial Intelligence") AND ("Automotive technological innovation" OR "Automotive innovation") AND ("Driver assistance systems" OR "ADAS") AND ("Autonomous vehicles" OR "Autonomous vehicles")	Scopus
((("Artificial Intelligence") AND ("automotive industry"))) OR ((("Driver assistance systems" OR "ADAS")) OR ((("Autonomous vehicles"))	Scielo

the selected area. On the other hand, Scopus reported 28 articles, of which 17 met the inclusion criteria, demonstrating a significant contribution to the scientific research body. Scielo presented 11 records in total, of which 8 were considered relevant to the study, indicating a smaller offering compared to the other databases, but equally relevant to complete the bibliographic overview.

The results show that IEEE Xplore and Scopus are the most productive and selective sources in providing current and specialized scientific literature on artificial intelligence applied to the automotive industry, while Scielo provides complementary and contextual information necessary to strengthen the overall analysis.

The PRISMA flowchart presented in Figure 2 summarizes the process of selecting scientific literature on artificial intelligence



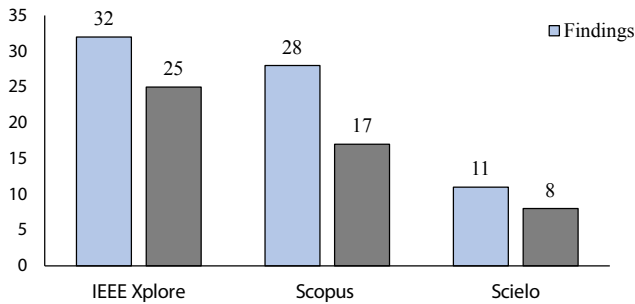


Figure 1. Distribution of total and selected records by IEEE Xplore Scopus and Scielo databases
 Source: The authors

in the automotive industry. Seventy-one records were initially identified in recognized databases (IEEE Xplore, Scopus, Scielo), from which duplicates were eliminated to obtain 63 unique studies. Subsequently, using clear inclusion and exclusion criteria, 13 documents that did not meet the established parameters were discarded. Finally, 50 relevant articles were filtered and selected for analysis, thus ensuring a rigorous systematic review focused on recent, high-quality, and thematically relevant publications.

The results obtained from the systematic review were used throughout this study to answer, using secondary sources, the scientific questions posed in Table 1 of the PRISMA protocol. This rigorous and structured methodology justifies the use of the data obtained as fundamental input for the analysis and

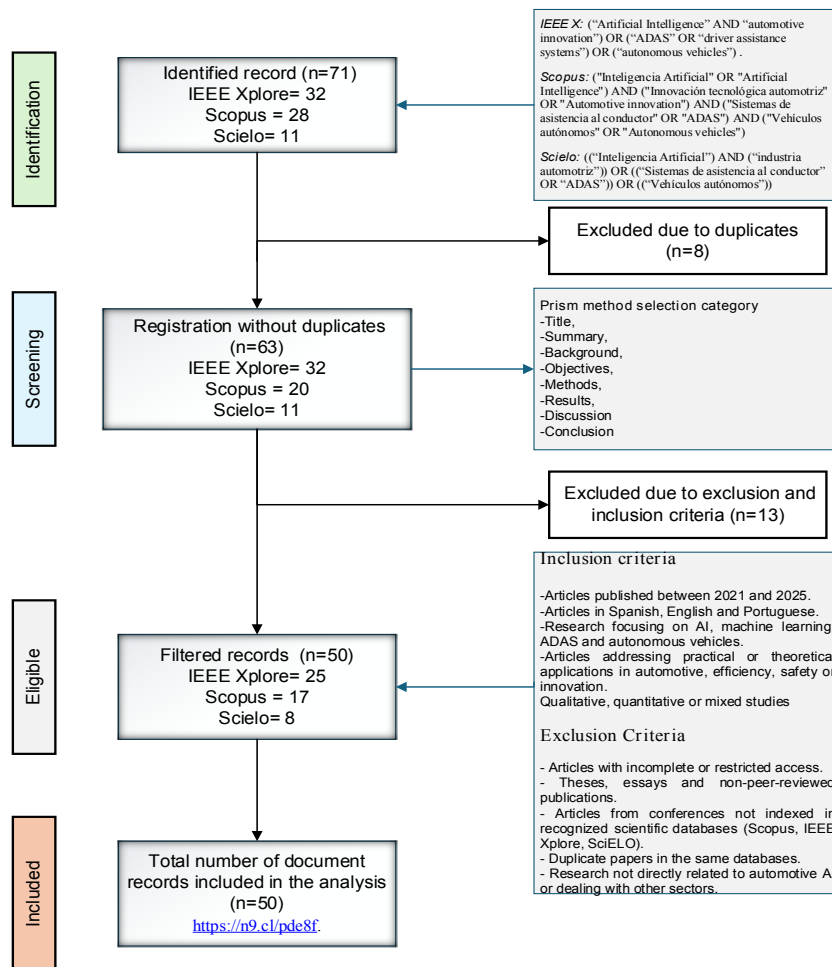


Figure 2. PRISMA flowchart of the selection process for studies on artificial intelligence in the automotive industry
 Source: The authors

interpretation of the research results, ensuring the transparency, replicability, and validity of the conclusions reached.

3. Results

RQ1. Impact of deep learning algorithms on ADAS and autonomous vehicles.

Table 4 represents various algorithms based on convolutional neural networks (CNN), including YOLOv2 and newer versions, which demonstrated considerable improvement in the accuracy and speed of detecting and classifying critical objects, such as vehicles. For example, the models report an average accuracy (mAP@0.5) greater than 90% for vehicles under optimal evaluation conditions, along with computational performance

that allows processing images at speeds exceeding 30 FPS and with latencies below 35 ms, supporting their feasibility for real-time operations (Gheorghie et al.2024).

Reinforcement learning complements supervised methods by improving vehicle adaptability in real time, optimizing its behavior in various conditions, including rain, and contributing to accident reduction, although without standard measurements such as mAP (Posso-Bautista et al. 2022). On the other hand, Support Vector Machines (SVMs) strengthen perception by classifying complex patterns and reducing false positives, reaching over 85% in accuracy and F1 on the KITTI dataset during the day, although their effectiveness largely depends on the quality of data preprocessing (Fang & Wang, 2022).

Table 4. Deep learning algorithms integrated into autonomous vehicles
 Source: The authors

Algorithm	Application in ADAS and Autonomous Vehicles	Reported Improvement
Convolutional Neural Networks (CNN)	Used for processing and analyzing images from cameras and visual sensors. They classify and recognize objects in the vehicle's surroundings (other cars, pedestrians, traffic signs). They enable early warnings and rapid execution of emergency maneuvers (Balitskii & Kolesnikov, 2023).	<p>Dataset: KITTI</p> <p>Lou metrics: mAP@0.5 (>88%)</p> <p>Conditions: Day, clear</p> <p>Performance: Vehicles (>88%), Pedestrians (not reported)</p> <p>Strength: High precision in vehicles</p> <p>Limitations: Little data on signs and pedestrians</p>
Reinforcement Learning	Used for real-time driving strategy optimization, adaptive learning, and decision-making based on rewards and punishments, improving the vehicle's ability to respond to environmental changes and avoid obstacles (Posso-Bautista et al. 2022)	<p>Dataset: KITTI</p> <p>Conditions: Day, clear and rainy</p> <p>Performance: Improves adaptive reaction</p> <p>Strength: Real reduction in accidents</p> <p>Limitations: Does not assess mAP/direct precision</p>
Support Vector Machines (SVM)	Applied to classify and predict complex patterns, such as obstacles on the road and environmental conditions, complementing deep learning models with robust techniques to minimize false positives and negatives (Fang & Wang, 2022).	<p>Dataset: KITTI</p> <p>Lou Metrics: Accuracy, F1 (>85%)</p> <p>Conditions: Day, clear</p> <p>Performance: Obstacles (>85%)</p> <p>Strength: Reduces false positives</p> <p>Limitations: Highly dependent on preprocessing</p> <p>Dataset: KITTI</p> <p>Lou metrics: mAP@0.5 (98%, vehicle), mAP@0.5 (30-35%, pedestrian/signal)</p>
YOLO v2	Real-time object detector that processes visual information in a single step, enabling high processing speeds. It is widely used in ADAS applications to identify multiple objects simultaneously, accelerating system response (León et al. 2025).	<p>Conditions: Day, clear, partly rain</p> <p>Performance: Vehicle (98%), Pedestrian/Signal (30-35%)</p> <p>Strength: High speed (FPS>30), robustness in cars</p> <p>Limitations: Poor performance on pedestrians, signals and at night/rain</p>



The analysis focused on deep learning algorithms applied to ADAS systems and autonomous vehicles, with a special emphasis on YOLO algorithm variants standardized to the automotive standard nomenclature (e.g., YOLOv2 to YOLOv8). These versions have been evaluated on various recognized datasets for vehicular applications, such as KITTI, nuScenes, Waymo, and BDD100K. Versions of YOLO applied to non-automotive domains are avoided to ensure the specific relevance of the analysis (Kasamsumran et al. 2025).

RQ2. Key technical, ethical, and safety challenges in AI-powered vehicles.

A diagram was created visually identifying the main threats facing autonomous vehicles, grouped into three categories: attacks on ad hoc vehicle networks, sensor vulnerabilities, and hardware exploits. The purpose was to identify critical risks and construct an analysis and develop cybersecurity strategies in the automotive sector (See Figure 4).

Attacks on ad hoc vehicular networks

Autonomous vehicles rely on vehicular ad hoc networks (VANETs), which enable direct communication between vehicles and with road infrastructure. These networks facilitate the flow of real-time data on traffic, accidents, and weather conditions, improving transportation safety and efficiency. However, due to their wireless and dynamic nature, they are vulnerable to multiple attacks. Among the most significant are denial of service attacks, which seek to saturate the network by preventing the transmission of essential data; spoofing, where malicious actors issue fake messages posing as legitimate vehicles; message alteration and replication, which can lead to navigation errors or congestion; and privacy violations, through unauthorized tracking of vehicle and personal information. To mitigate these risks, message authentication systems, hybrid cryptography, and intrusion detection mechanisms have been proposed in VANETs (Li et al., 2024).

Autonomous vehicles collect and process vast amounts of data, raising significant privacy concerns:

Location data: Continuous monitoring of a vehicle’s position and routes can reveal sensitive information about the driver’s habits and routines. Unauthorized access to this data can lead to surveillance, harassment, or even theft if malicious actors know the owner is away (Olivares, 2022).

User data: Autonomous vehicles often collect personal information about the driver and passengers, such as biometric data (e.g., facial recognition), driving preferences, and in-vehicle activities. Unauthorized access to this data can lead to identity theft, unauthorized profiling, or the misuse of personal

Detection of faults in autonomous vehicle perception systems

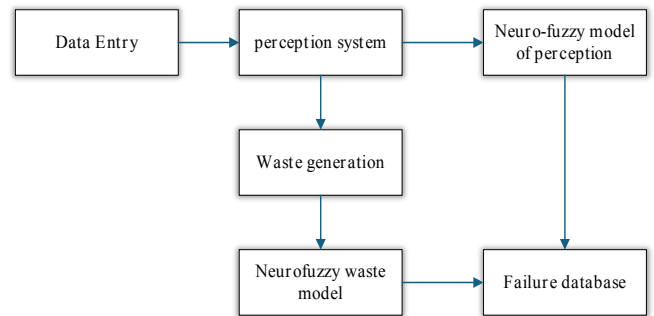


Figure 3. Fault diagram for autonomous vehicle sensor systems
Source: Adapted from Jiménez & Naranjo (2025).

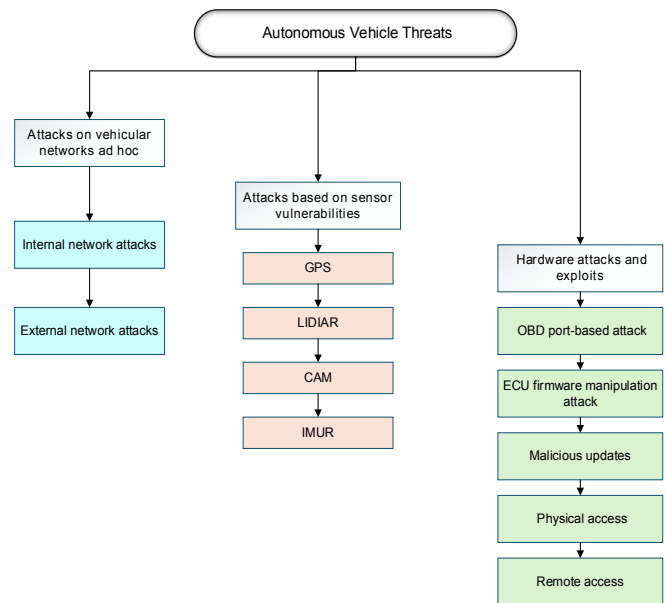


Figure 4. Outline of the main threats to autonomous vehicles
Source: Adapted from Terrones (2022).

information for malicious purposes (Olivares, 2022).

Operational data: Vehicle performance information, such as speed, braking patterns, and sensor data, can be valuable for improving vehicle systems, but also poses a risk if disclosed. Competitors or malicious entities could exploit this data for industrial espionage or to identify vulnerabilities in vehicle systems (Olivares, 2022).

Sensor vulnerabilities

The reliability and accuracy of autonomous vehicles depend critically on sensors such as GPS, LiDAR, cameras, and

Table 5. Comparison of YOLO algorithm versions: architecture, datasets and performance metrics in automotive applications from YOLOv2 to YOLOv11.

Source: Adapted and expanded from recent technical reports and studies in vehicular computer vision (León et al. 2025; Gheorghe et al. 2024; Kasamsumran et al. 2025).

YOLO Model	Backbone	Entrance	Dataset	mAP@0.5 (%)	mAP@[0.5:0.95] (%)	Accuracy (%)	FPS	Latency (ms)
YOLOv2	Darknet-19	416 x 416	KITTI	88-90	60-65	>88 in vehicles	>30	<35
YOLOv3	Darknet-53	416 x 416	nuScenes	90+	65-70	High	>30	~30
YOLOv4	CSPDarknet-53	608 x 608	Waymo	92	70	High	30	~35
YOLOv5	CSPDarknet	640 x 640	BDD100K	91	68	High	>30	25
YOLOv6	EfficientNet	640 x 640	KITTI	93	70	Consistent	>30	20-25
YOLOv7	RepVGG	640 x 640	Waymo	94	72	Excellent	>30	18-22
YOLOv8	Custom	Variable	Varied	95	73-75	Very high	>30	15-20
YOLOv9	TBD	TBD	Varied	Est. 95+	Est. 75+	High	>30	~15
YOLOv10	TBD	TBD	Varied	Est. 96	Est. 76	Very high	>30	~14
YOLOv11	TBD	TBD	Varied	Est. 97	Est. 77	Excellent	>30	~12

inertial imager units (IMUR). Attacks on these systems include signal spoofing techniques, physical interference, and digital manipulation. For example, it has been shown that an attacker can emit fraudulent signals and cause vehicle radar to detect non-existent obstacles, or vice versa, preventing it from recognizing real hazards. GPS is susceptible to spoofing attacks that modify the vehicle’s reported location, while LiDAR and cameras can be altered with simple stickers or light emitters, modifying the perceived environment. These vulnerabilities directly affect the vehicle’s decision-making and can lead to serious accidents. Numerous cases and methods are evident for exploiting these flaws in the perception systems of autonomous vehicles (Jiménez & Naranjo, 2025) (See Figure 3).

Hardware attacks and exploits

Autonomous vehicles integrate multiple electronic control units (ECUs) and components connected via physical and remote interfaces. These systems are prime targets for advanced cyberattacks, including firmware manipulation, malicious updates, and remote control via ports such as OBD-II. Unauthorized access can allow an attacker to alter critical vehicle parameters, take control of the engine, brakes, or safety systems, and even disable protective measures. Documented examples include the remote hacking of a Jeep Cherokee’s infotainment system, allowing manipulation from outside the vehicle. Hackers can also infiltrate the software supply chain by injecting malware into OTA (Over The Air) updates. Hardware exploits pose a persistent threat, requiring active defences such as encryption, constant monitoring, and rapid incident response. (Pereira & Botelho, 2021).

OBD-based attacks remain relevant, as advanced methods have emerged that exploit their vulnerabilities, allowing persistent access to critical systems. ECU firmware manipulation has evolved into more sophisticated techniques, capable of evading modern detection mechanisms and compromising multiple

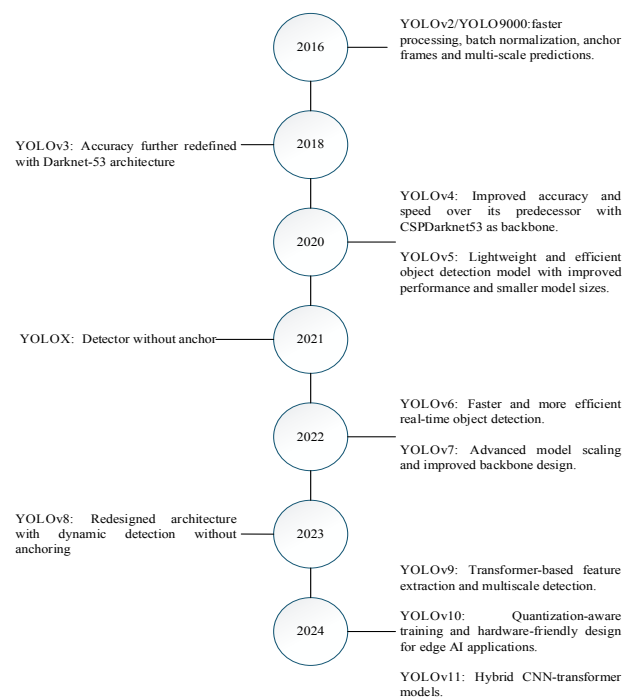


Figure 5. Evolution of YOLO algorithms: Timeline of improvements and architectural advancements from YOLOv2 to YOLOv11

Source: Adapted from Kasamsumran et al., (2025).

units simultaneously. Threats derived from malicious updates now include attacks targeting the software supply chain, where machine learning techniques are employed to evade validation processes. Physical attacks have incorporated non-invasive methods, such as side-channel and electromagnetic techniques, broadening the spectrum of risks. Meanwhile, remote access has expanded its attack surface, affecting 5G networks, C-V2X communications, and electric vehicle charging infrastructure (Torok et al. 2022).

RQ3. Impact of advanced object detection algorithms (YOLO) on innovation, efficiency, and safety in ADAS systems and autonomous vehicles.

Table 5 represents a summary of the evolution and performance of the different versions of the YOLO algorithm, highlighting its relevance in automotive applications through key metrics such as accuracy, processing speed, and robustness under different conditions. From YOLOv2 to the latest versions (YOLOv8, v9, v10, and v11), a sustained trend of improvement in the average accuracy (mAP@0.5 and mAP@[0.5:0.95]) is observed, exceeding 90% for vehicle detection in widely validated datasets such as KITTI, nuScenes, BDD100K, and Waymo, which demonstrates the maturity reached by these architectures in real-world and international reference environments.

The most advanced versions, such as YOLOv8 and preliminary estimates for YOLOv9, v10 and v11, reflect notable optimizations in both computational performance (FPS above 30 and latencies below 20 ms) and recognition accuracy, essential aspects for ADAS systems and autonomous driving that require immediate responses. Noteworthy are the progressive improvements in accuracy on variable data sets and complex scenarios, as well as the adoption of innovative techniques and backbones, such as NAS, which enhance the efficiency and generalization of the model (Swamy et al. 2023).

However, it should be noted that, while mAP values are excellent for vehicles, challenges persist in accurately detecting pedestrians and signs, especially under adverse weather conditions, nighttime variability, or with lower-quality inputs. These gaps warrant continued research into dataset diversification and architecture refinement. Overall, the table underscores the positive evolution of YOLO as a reference standard in vehicular computer vision, highlighting both proven strengths and critical areas for future development.

Figure 5 represents the evolutionary timeline of YOLO algorithms, highlighting key milestones that have marked the advancement of object detection using artificial intelligence in computer vision. Since the introduction of YOLOv2 and YOLO9000 in 2016, which consolidated the real-time detection paradigm with optimized processing and hierarchical predictions, significant innovations have occurred in each new version. YOLOv3 (2018) refined accuracy by incorporating the Darknet-53 architecture, while YOLOv4 (2020) and YOLOv5 brought improvements in speed, efficiency, and adaptability thanks to the integration of CSPDarknet53 and lighter models. The following years have been marked by the evolution towards anchorless residual architectures (YOLOX), the use of transformers for feature extraction (YOLOv9), and the exploration of hybrid models

and aware quantification (YOLOv10 and YOLOv11), oriented towards compatibility with specialized hardware and multi-sector applications (Kasamsumran et al. 2025).

In Figure 6, it is observed that values close to 1 reflect a high certainty of the neural network in correctly classifying objects, while lower values indicate greater uncertainty. Figure 6 shows that this algorithm presents a high confidence (greater than 0.88) in the detection of vehicles, including red cars (0.98717), light blue trucks (0.95462), black SUVs (0.933), white trucks (0.92191), and red pickup trucks (0.88817), evidencing a solid performance in the identification of these objects. However, the model indicates considerably low confidence (less than 0.33) for the detection of signs and pedestrians (0.329185 and 0.32748, respectively), which shows a significant limitation in its ability to consistently identify these elements, possibly due to the great variability in their appearance or the insufficient training data for these categories. According to the information obtained throughout this study from the academic database, it is evident that the implementation of AI has led to multiple significant improvements in advanced driver assistance systems (ADAS) in autonomous vehicles, from increased accuracy and speed of object detection to optimized road safety and operational efficiency. For this reason, a summary matrix was developed that explains the main results in areas for improvement, accompanied by their sources and DOI references, thus allowing direct access to the corresponding scientific evidence (See Table 6).

4. Discussion

The results of this study confirm the significant transformation the automotive industry has undergone due to the incorporation of advanced artificial intelligence algorithms, especially in advanced driver assistance systems (ADAS) and autonomous



Figure 6. View of the YOLOv2 interface during real-time object detection in an autonomous vehicle. Source: Adapted from Gheorghie et al., (2024)

Table 6. Summary matrix of artificial intelligence-induced improvements in advanced driver assistance systems (ADAS) in autonomous vehicles

Source: The authors

Aspects of improvements	Description of improvements	Application	URL/DOI
Object Detection	AI facilitates the rapid and accurate detection and classification of vehicles, pedestrians, signs, and obstacles, improving environmental awareness.	Using algorithms like YOLO v2 for real-time detection.	https://doi.org/10.54808/CICIC2025.01.341 https://doi.org/10.32604/cmes.2024.054735
Processing Speed	Convolutional neural networks and single-stage detection architecture (Darknet in YOLO) enable immediate reactions and improve operational efficiency.	Fast image processing for instant decisions.	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3569767
Accuracy and Reliability	High success rate and reduced false positives/negatives increase the security of automated decision-making.	ADAS systems with early warnings and precise execution.	https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i2.382
Adaptability	Adaptive training with large volumes of data continuously improves performance under new conditions or contexts.	Continuous learning to adapt to new environments.	https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3569767
Multisensory Integration	Data fusion from diverse sources (cameras, LiDAR, GPS, inertial sensors) for robust and complete environmental awareness.	Vehicles that combine multiple types of sensors for safety.	https://doi.org/10.1016/j.cja.2024.10.011
Security and Reliability	Improved AI-powered accident detection and prevention, as well as enhanced cybersecurity to protect systems from attacks.	Systems against attacks on vehicular networks and sensor manipulation.	https://doi.org/10.1109/ICoCTA64736.2024.00066 https://doi.org/10.1109/CSNT57126.2023.10134612

vehicles. However, it is important to recognize the high degree of heterogeneity in the results obtained, caused by differences in sensor resolutions, types and configurations of devices used, as well as by varying conditions during evaluations, such as different weather and lighting conditions. Therefore, the observed improvements should not be generalized without considering the context and specific magnitude of each scientific contribution.

The ability of algorithms such as YOLOv2 and its successors to perform real-time detection with high accuracy is a crucial technological advancement, driving improved vehicle environment awareness and enabling fast and reliable automated decision-making in dynamic contexts (Gheorghe et al. 2024). In turn, the optimization offered by lightweight AI-based architectures, particularly the Darknet versions that underpin YOLO models, has significantly reduced processing latency, a critical aspect for ADAS systems that require immediate responses to ensure user safety (Kasamsumran et al. 2025).

Advances in multisensory integration and data fusion using artificial intelligence reflect a trend toward developing increasingly robust and reliable systems for environmental perception. Linares et al. (2025), highlight how the efficient combination of information from cameras, LiDAR, GPS systems, and inertial sensors, orchestrated by advanced algorithms, can overcome the limitations inherent to each individual sensor, thereby mitigating risks associated with specific vulnerabilities. However, significant challenges remain, particularly in the accurate detection of traffic signs and pedestrians, with confidence levels that highlight limitations in current models. This reinforces the need to expand and diversify training datasets

and develop models with greater adaptability and generalization to variable and adverse conditions (Gheorghe et al. 2024).

A critical aspect that emerges in the discussion is cybersecurity and privacy. Automation in vehicles amplifies the risks derived from the vulnerability of vehicular networks and electronic systems to sophisticated attacks. It is essential to consider the adoption of and alignment with international standards such as ISO 26262 for functional safety, ISO/SAE 21434 for automotive cybersecurity, and UNECE R155/R156 regulations governing cybersecurity and OTA updates, in order to build resilient systems. The integration of proactive strategies with artificial intelligence for the automatic detection and mitigation of threats is a priority area for research and regulation (LI et al. 2025; Torok et al. 2022).

Finally, at the organizational and societal level, the impact of artificial intelligence on the automotive industry is also reflected in the need for specialized training and the labor implications. While AI-driven automation may lead to job displacement, it also creates new opportunities in highly skilled professions related to the development, implementation, and maintenance of intelligent systems (Hidalgo & Huerta, 2021; Meza et al. 2024).

Practical limitations

Advances in artificial intelligence algorithms applied to ADAS systems and autonomous vehicles have had a positive impact on improving road safety, operational efficiency, and technological innovation in the automotive industry. Real-time detection capabilities and reduced latency enable rapid and reliable responses to dynamic situations, while multisensory



integration strengthens the systems' accuracy and robustness in real-world scenarios. To ensure effective implementation, these developments must be aligned with international standards such as ISO 26262, ISO/SAE 21434, and UNECE regulations, promoting collaboration between manufacturers, developers, and regulatory bodies for safe and socially acceptable adoption.

Limitations of the Review

Although this systematic review provides valuable results, it has significant methodological limitations, such as the heterogeneity in the quality and types of studies, the diversity of the datasets and metrics employed, and the limited evaluation of adverse scenarios, such as adverse weather conditions. Furthermore, data extraction was limited to traditional academic databases such as IEEE Xplore, Scopus, and Scielo, without including open repositories or alternative sources that could contain relevant contributions, which restricts the coverage and diversity of the collected records. This systematic review has methodological limitations: lack of pre-registration of the protocol, screening by a single evaluator, heterogeneity in data preventing quantitative meta-analysis, and evaluations limited to ideal conditions that reduce generalizability of findings to real implementations.

Future research

To address these challenges, the future research agenda should focus on developing models that are more adaptive and resilient to changing and adverse environments. Strategic priorities include domain adaptation to improve generalization, designing systems robust to challenging weather conditions, incorporating event cameras for better detection of rapid movements, applying self-supervised learning to optimize training with less annotated data, and rigorous estimation and uncertainty management methods that increase confidence in automated decisions. Advancing these areas will boost the effectiveness, reliability, and safety of intelligent systems, facilitating the successful and safe adoption of autonomous vehicles on a large scale.

5. Conclusions

This study, conducted through a basic systematic review that applied the PRISMA protocol to analyze the influence of artificial intelligence on the automotive industry, identified 71 records in specialized databases such as IEEE Xplore, Scopus, and Scielo, of which 50 were selected based on inclusion and exclusion criteria. Although the review incorporated the fundamental steps of identification, selection, and analysis, full rigorous methodologies, such as pre-registration of the protocol or independent double review, were not implemented, which limits bias minimization and inter-rater cross-validation. Despite these limitations, derived from time and resource constraints,

the results obtained provide valuable contributions that enrich knowledge on the impact of artificial intelligence on the automotive industry.

Deep learning algorithms, especially convolutional neural networks and variants of the YOLO model, have shown a significant impact on improving advanced driver-assistance systems (ADAS) and accelerating the development of autonomous vehicles. These algorithms enable the detection and classification of critical objects with high accuracy (>90% for vehicles) and speed (more than 30 FPS and latencies less than 35 ms), facilitating real-time responses and increasing road safety. However, limitations persist in the detection of pedestrians and traffic signs, highlighting the need to expand and diversify datasets to strengthen the performance of these models under varied conditions.

The implementation of vehicles equipped with artificial intelligence faces significant technical, ethical, and security challenges. Particularly notable are the vulnerabilities in ad hoc vehicle networks, sensors, and hardware, which expose them to sophisticated cyberattacks, jeopardizing data privacy and operational security. Developing comprehensive cybersecurity solutions aligned with international standards is essential to mitigate these risks. Therefore, the incorporation of AI generates labour and organizational impacts that require specialized training strategies and adaptation to the new technological paradigm.

Advanced object detection algorithms such as YOLO, from its version 2 to the most recent (YOLOv11), have driven technological innovation, operational efficiency, and safety in ADAS systems and autonomous vehicles. A sustained improvement in accuracy and processing speed has been observed, consolidating YOLO as a standard in vehicular computer vision. However, progress is still needed in the reliable detection of pedestrians and traffic signs, especially in adverse conditions, promoting the diversification of datasets and the development of more adaptive models to ensure robust performance in real-world and complex scenarios.

Author Contributions

Murillo Vélez José Andrés: Conceptualization, Methodology, Research, Data Curation, Writing – original draft of the article, Writing – revision and editing of the article. **Alcívar Cevallos Roberth Abel:** Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Supervision, Validation, Visualization, Writing – revision and editing of the article.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest that could influence or bias the results of the study presented in this article

Bibliographic References

- Del-Coco, M., Carcagni, P., Oliver, S. T., Iskandaryan, D., & Leo, M. (2025). The Role of AI in Smart Mobility: A Comprehensive Survey. *Electronics*, 14(9), 1801. <https://doi.org/10.3390/electronics14091801>
- Fang, X., & Wang, L. (2022). Research on the Application of Artificial Intelligence Technology in Intelligent Connected Vehicles. 2022 5th Asia Conference on Machine Learning and Computing (ACMLC), 111-116. <https://doi.org/10.1109/ACMLC58173.2022.00027>
- Gheorghie, C., Duguleana, M., Boboc, R.G., & Postelnicu, C.C. (2024). Analyzing Real-Time Object Detection with YOLO Algorithm in Automotive Applications: A Review. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 141(3), 1939-1981. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2024.054735>
- Hidalgo, H., & Huerta, H. (2021). Sliding mode control for electric vehicles with differential speed. *Ibero-American Journal of Automation and Industrial Informatics*, 18(2), 119. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.13440>
- Hong, QN, Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.-P., Griffiths, F., Nicolau, B., O’Cathain, A., Rousseau, M.-C., Vedel, I., & Pluye, P. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for Information*, 34(4), 285-291. <https://doi.org/10.3233/EFI-180221>
- Jiménez, F., & Naranjo, J. (2025). Analysis and mitigation of potential failures in the operation of a highly automated vehicle. *Revista de Cantabria*, 10(13).
- Kasamsumran, N., Ittichaiwong, P., Chinudomporn, C., Veerakanjana, K., Karopongse, E., & Pora, W. (2025). AI-Assisted Web Application for Leukocyte Abnormality Counting With YOLOv11 and Smartphone Microscopy. *IEEE Access*, 13, 89079-89107. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3569767>
- Li, C., Liu, P., Zhang, Q., & Liu, T. (2024). How to Better Cope with New Automotive Security Risks: VSOC Empowered by Threat Intelligence. 2024 4th International Conference on Control Theory and Applications (ICoCTA), 310-314. <https://doi.org/10.1109/ICoCTA64736.2024.00066>
- Linares Torres, F., Tesei Choque, F., Contreras-Salazar, K., & Salazar, B. (2025). Applications of Artificial Intelligence in Unmanned Aerial Vehicles. *Cuadernos de Trabajo Journal*, 30, 63–74. <https://doi.org/10.58211/rwbdr15>
- Llopis-Albert, C., Rubio, F., & Valero, F. (2021). Cybersecurity challenges in autonomous and connected vehicles. *Applied Sciences*, 11(6), 2568. <https://doi.org/10.3390/app11062568>
- León León, RA, Mendoza Gutierrez, JE, & Polo Del Rosario, CS (2025). Development of a Python Algorithm for Detecting Phone Distractions in Drivers Using YOLOv8 Neural Networks. 341–349. <https://doi.org/10.54808/CICIC2025.01.341>
- Meza Suyon, S. M., Estrella Vidarte, C. E., & Sanchez Ayasta, A. (2024). The impact of artificial intelligence on job displacement: challenges and opportunities in the future of work. *Business Horizon*, 11(2), 23–35. <https://doi.org/10.26495/ff1t7r60>
- Mitre. (2025). A Study on Real-world Effectiveness of Model Year 2015-2023 ADAS. MITER Report PR-25-0114. https://www.mitre.org/sites/default/files/2025-01/PR-25-0114-Study-Real-world-Effectiveness-Model-year-2015%E2%80%932023-ADAS.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Olivares José. (2022). Artificial intelligence-based cybersecurity for connected and automated vehicles. *Scopus*, 12(1).
- Posso-Bautista, B., Bacca-Cortés, E.B., & Caicedo-Bravo, E. (2022). Autonomous vehicle localization method based on an extended Kalman filter and geo-referenced landmarks. *Journal of Research, Development and Innovation*, 12(1), 121–136. <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n1.2022.14213>
- Neuman Tomás. (2024). Analysis of Advanced Driver-Assistance Systems for Safe Driving. *Sensors*, 24(19), 6223. <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/19/6223>
- Swamy, B.G., Pardhasaradhi, B., Acharya, U.S., Srihari, P., Reddy, S., & Annavaajjala, R. (2023). FPGA Accelerated Automotive ADAS Sensor Fusion. 2023 IEEE 12th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 35-40. <https://doi.org/10.1109/CSNT57126.2023.10134612>
- Terrones, A. (2022). A general approach to the development of autonomous cars. *Ibero-American Journal of Science, Technology and Society*, 16(47).
- Torok, A., Szalay, Z., & Saghi, B. (2022). New Aspects of Integrity Levels in Automotive Industry-Cybersecurity of Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(1), 383-391. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3011523>
- Valencia Piedra, L. A., Guerrero Delgado, B. E., Torres Moscoso, D. F., & Fajardo Vásquez, D. (2023). Utilización de tecnología 5G en Cuenca. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 6637–6648. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6658
- Yurtsever, E., Lambert, J., Carballo, A., & Takeda, K. (2020). A survey of autonomous driving: Common practices and emerging technologies. *IEEE Access*, 8, 58443-58469. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983149>





El aprendizaje inteligente en la programación: una revisión sistemática de la literatura

Smart learning in programming: a systematic literature review

Autores

*Edison Amador Miguez Gordillo

✉ edison.miguez@unach.edu.ec



Patricio Ricardo Humanante Ramos

✉ phumanante@unach.edu.ec



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

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Miguez Gordillo, E. A. & Humanante Ramos, P.R. (2026). El aprendizaje inteligente en la programación: una revisión sistemática de la literatura. *Informática y Sistemas*, 10(1), 51–68. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.8443>

Enviado: 18/05/2026

Aceptado: 03/06/2026

Publicado: 04/06/2026

Resumen

El aprendizaje inteligente en la educación de programación ha experimentado un crecimiento sostenido debido a la incorporación de inteligencia artificial, sistemas adaptativos y herramientas generativas destinadas a personalizar el aprendizaje. El objetivo de este estudio fue analizar los avances, enfoques, herramientas y desafíos asociados con la aplicación de tecnologías inteligentes en contextos de educación de programación. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura (RSL) basada en la metodología propuesta por Kitchenham, estructurada en fases de planificación, desarrollo y documentación. Se recuperó información de las bases de datos Scopus e IEEE Xplore, aplicando criterios de inclusión y exclusión, así como una evaluación de la calidad metodológica, para seleccionar estudios científicos publicados entre 2022 y 2026. Los resultados muestran un predominio de los Sistemas de Tutoría Inteligente (STI), modelos basados en grandes modelos de lenguaje (LLM), plataformas adaptativas y entornos gamificados inmersivos. Estas tecnologías permiten retroalimentación inmediata, adaptación al rendimiento del estudiante y apoyo personalizado a lo largo del proceso de aprendizaje. Los estudios reportan mejoras en el rendimiento académico, la comprensión conceptual, la resolución de problemas, la depuración de código, la motivación y el pensamiento computacional. Las principales limitaciones identificadas son la dependencia excesiva de herramientas generativas, la posibilidad de respuestas inexactas y la limitada evidencia longitudinal sobre sus efectos en diferentes contextos educativos. La integración de la inteligencia artificial y la mediación del profesor fomenta experiencias de aprendizaje más flexibles y autónomas, centradas en las necesidades individuales de los estudiantes de programación.

Palabras clave: aprendizaje inteligente; programación; aprendizaje adaptativo.

Abstract

Smart learning in programming education has experienced sustained growth due to the incorporation of artificial intelligence, adaptive systems, and generative tools aimed to personalizing learning. The objective of this study was to analyze the advances, approaches, tools, and challenges associated with the application of intelligent technologies in programming education contexts. To this end, a systematic literature review (SLR) was conducted based on the methodology proposed by Kitchenham, structured into planning, development, and documentation phases. Information was retrieved from the Scopus and IEEE Xplore databases, applying inclusion and exclusion criteria, as well as methodological quality assessment, to select scientific studies published between 2022 and 2026. The results show a predominance of Intelligent Tutoring System (ITS), models based on large language models (LLMs), adaptive platforms, and immersive gamified environments. These technologies enable immediate feedback, adaptation to student performance, and personalized support throughout the learning process. The studies report improvements in academic performance, conceptual understanding, problem solving, code debugging, motivation, and computational thinking as well. The main limitations identified are the excessive dependence on generative tools, the possibility of inaccurate responses, and the limited longitudinal evidence on their effects across different educational contexts. The integration of artificial intelligence and teacher mediation fosters more flexible and autonomous learning experiences centered on the individual needs of programming students.

Keywords: smart learning; programming; adaptive learning.



1. Introducción

En la última década, la inteligencia artificial (IA) ha adquirido un papel central en el ámbito educativo al impulsar enfoques orientados a la personalización del aprendizaje y al uso estratégico de datos para la toma de decisiones pedagógicas, lo que ha permitido superar esquemas homogéneos de enseñanza y atender con mayor precisión la diversidad estudiantil, tal como señalan Zawacki-Richter et al. (2022), quienes destacan su contribución en la transición hacia modelos centrados en el estudiante.

El aprendizaje inteligente se entiende como un enfoque educativo que integra tecnologías digitales, analítica de datos y herramientas de inteligencia artificial para crear entornos de aprendizaje adaptativos, capaces de mejorar los procesos educativos mediante la personalización y la innovación pedagógica, facilitando así una transformación significativa en la enseñanza (Amo-Filva, 2023). Dentro de este panorama, el aprendizaje inteligente se vuelve una propuesta que articula capacidades tecnológicas con fundamentos pedagógicos, integrando sistemas adaptativos y analítica de aprendizaje con el propósito de ajustar los contenidos, ritmos y estrategias de enseñanza; en esta línea, Míguez Gordillo (2025) sostiene que este enfoque se basa en la mediación de la IA para identificar necesidades individuales y orientar intervenciones docentes pertinentes.

La enseñanza de la programación representa un campo de especial interés para este tipo de enfoques debido a las exigencias cognitivas que implica, entre ellas la abstracción, la lógica formal y la resolución estructurada de problemas, lo que ha sido asociado con dificultades persistentes en estudiantes de distintos niveles, estudios recientes confirman que el aprendizaje de la programación continúa siendo un desafío significativo para principiantes y que identificar factores que influyen en el rendimiento resulta complejo en cursos introductorios (Köhler et al., 2023).

Ante este escenario, diversas investigaciones han explorado el uso de herramientas basadas en IA como mecanismos de apoyo al aprendizaje de la programación, incluyendo tutores inteligentes, sistemas de retroalimentación automática y asistentes de codificación, los cuales ofrecen acompañamiento continuo y adaptado al desempeño del estudiante, generando mejoras en la comprensión conceptual y en la práctica autónoma (Finnie-Ansley et al., 2022; Topham et al., 2026). No obstante, la incorporación de estas tecnologías en contextos educativos reales presenta desafíos que trascienden lo técnico, ya que involucran aspectos pedagógicos, institucionales y éticos; en este sentido López-Vasco, Angulo-Álvarez y Sosa-Zúñiga (2025), advierten que el uso de modelos de IA exige una adecuada formación

docente y criterios claros para su integración, a fin de evitar usos superficiales o descontextualizados.

De igual forma, la literatura evidencia una tendencia a analizar herramientas de manera aislada, priorizando sus características funcionales antes que su impacto en los procesos de aprendizaje, lo que limita la comprensión del fenómeno en su conjunto, Kasneci et al. (2023) señalan que esta dispersión dificulta establecer comparaciones y definir criterios comunes para evaluar su efectividad.

Partiendo de los aspectos descritos anteriormente, el estudio tuvo como propósito analizar los avances sobre el aprendizaje inteligente en la programación a través de una revisión sistemática de la literatura (SLR), alineado a esto, la investigación buscó responder cuatro preguntas orientadas a identificar: i) las principales tendencias del aprendizaje inteligente aplicadas a la programación, ii) las herramientas y enfoques usados en el aprendizaje inteligente, iii) los beneficios y limitaciones reportados en los procesos de enseñanza y aprendizaje, y iv) los desafíos y perspectivas futuras para su implementación en contextos educativos.

La presente revisión sistemática aporta una visión actualizada sobre el aprendizaje inteligente aplicado a la enseñanza de la programación, diferenciándose de estudios previos como los de Mustafa et al. (2024a) y Tlili (2024a) al abordar el vacío de investigación relacionado con la escasa evidencia específica sobre cómo los sistemas adaptativos, la analítica de aprendizaje y los asistentes basados en inteligencia artificial son implementados y utilizados en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la programación. En este sentido, el estudio busca contribuir a una comprensión profunda de los avances, aplicaciones y desafíos del aprendizaje inteligente en este campo educativo particular.

1.1 Marco Teórico

1.1.1 Fundamentos del aprendizaje inteligente

El aprendizaje inteligente (smart learning) constituye un modelo educativo basado en la integración de tecnologías digitales, inteligencia artificial y análisis de datos para personalizar la enseñanza y mejorar la experiencia de aprendizaje, este enfoque promueve entornos adaptativos capaces de responder a las necesidades individuales de los estudiantes mediante retroalimentación en tiempo real y recursos digitales interactivos. Asimismo, el aprendizaje inteligente se relaciona estrechamente con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), permitiendo modalidades educativas flexibles, colaborativas y centradas en el estudiante, estudios recientes señalan que

los sistemas inteligentes favorecen el aprendizaje autónomo y el rendimiento académico mediante el uso de algoritmos adaptativos y plataformas educativas inteligentes (Zizoune et al., 2025; Villegas-Ch et al., 2025).

1.1.2 Enseñanza y aprendizaje de la programación

La enseñanza de la programación representa uno de los principales desafíos en la educación tecnológica debido a la complejidad lógica y abstracta que implica para los estudiantes principiantes, pues, diversos estudios evidencian que muchos estudiantes presentan dificultades relacionadas con la comprensión de algoritmos, sintaxis y resolución de problemas computacionales, ante esta situación, se han implementado estrategias pedagógicas apoyadas en plataformas virtuales, gamificación y sistemas de tutoría inteligente que buscan mejorar la motivación y el aprendizaje significativo. Además, el pensamiento computacional se ha convertido en una competencia fundamental para desarrollar habilidades analíticas y de resolución de problemas en contextos educativos digitales (Cao, 2023; Fan et al., 2023).

1.1.3 Aplicaciones del aprendizaje inteligente en la programación

Las aplicaciones del aprendizaje inteligente en la programación han permitido desarrollar sistemas capaces de ofrecer tutoría personalizada, retroalimentación automática y adaptación dinámica de contenidos educativos, los Sistema de Tutoría Inteligente (STI) o Intelligent Tutoring Systems (ITS) en inglés, utilizan inteligencia artificial y aprendizaje automático para identificar errores, monitorear el progreso del estudiante y recomendar actividades acordes con su nivel de desempeño. Investigaciones recientes destacan que estas tecnologías

incrementan la participación, motivación y comprensión en cursos de programación, aunque también presentan desafíos relacionados con la privacidad de datos, dependencia tecnológica y capacitación docente. Del mismo modo, las tendencias actuales apuntan hacia el uso de modelos de lenguaje, analítica de aprendizaje y sistemas adaptativos avanzados en entornos educativos de programación (Lai & Lin, 2025; Mittelhessen et al., 2023).

1.2 Organización del estudio

El estudio se organiza en cinco secciones, 1) la introducción donde se presenta el problema, los objetivos y la base teórica sobre inteligencia artificial y educación; 2) la metodología describe el desarrollo de la revisión sistemática de literatura basada en Kitchenham; 3) los resultados obtenidos en las bases de datos seleccionadas; 4) la discusión interpreta los resultados comparándolos con estudios previos sobre aprendizaje inteligente; y por último 5) conclusiones.

2. Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo y documental, para ello, se adoptó una SLR, ya que este tipo de metodología permite organizar de manera estructurada la evidencia existente y analizar tendencias emergentes en un campo de estudio, la revisión sistemática es entendida como un proceso riguroso que permite identificar, evaluar e interpretar toda la evidencia disponible relacionada con una pregunta de investigación específica (Kitchenham, 2007a), garantizando así un análisis objetivo y confiable de la información, la misma se desarrolló a través de tres fases las que se visualizan en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de la metodología SLR

Fuente: Adaptada por los autores, fases de la metodología SLR de Kitchenham 2007.



2.1 Fase 1: Planificación de la revisión

En esta fase se definieron las preguntas de investigación, las bases de datos y se formuló el protocolo de revisión, el cual integra los criterios de inclusión y exclusión y los criterios de evaluación de calidad de los estudios, permitiendo organizar el proceso de búsqueda, filtrado y análisis de la evidencia, pues, una adecuada planificación garantiza la coherencia y la reproducibilidad del proceso, como señalan Mustafa et al., (2024b) alineado a esto, los criterios de inclusión y exclusión establecen los límites del estudio y permiten decidir qué artículos forman parte de la revisión, lo que aporta claridad en la selección de la evidencia (Biblioteca Universidad de Navarra, 2024) a continuación, se desarrollaron en las siguientes etapas de esta fase:

2.1.1 Identificación de la necesidad del estudio

La enseñanza de la programación presenta desafíos en la era contemporánea, debido a las exigencias cognitivas que implica, lo que repercute en el desempeño de estudiantes y en las estrategias pedagógicas empleadas por los docentes, de acuerdo con Adil Shah (2025) la evidencia sobre el uso de inteligencia artificial en educación se encuentra dispersa en distintos enfoques y contextos, lo que dificulta obtener una visión clara de su impacto, J. Yang et al. (2025) indican que, si bien estas tecnologías ofrecen ventajas como la personalización del aprendizaje, también plantean desafíos pedagógicos y éticos que requieren un análisis sistemático.

2.1.2 Preguntas de investigación

En este contexto, se planteó las siguientes preguntas de investigación:

PI1: ¿Qué enfoques de aprendizaje inteligente se han aplicado en la enseñanza de la programación y cuáles son sus características principales?

PI2: ¿Cuál es el impacto del aprendizaje inteligente en el rendimiento académico y la adquisición de habilidades de programación en estudiantes?

PI3: ¿Qué desafíos, limitaciones y oportunidades se han identificado en la implementación del aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación?

PI4: ¿Qué herramientas de aprendizaje inteligente se han utilizado en la enseñanza de la programación?

2.1.3 Desarrollo del protocolo de revisión

Este protocolo funciona como una guía que orienta la identificación, selección y análisis de la evidencia, permitiendo que el proceso siga reglas claras desde el inicio, según

Kitchenham, (2007b) el protocolo especifica los métodos que se utilizarán en la revisión y forma parte esencial de la fase de planificación, ya que asegura que el estudio se ejecute con coherencia y posibilidad de réplica, se detallan los criterios de selección de estudios como los de evaluación de calidad a continuación:

2.1.4 Criterios de selección de estudios

El desarrollo de los criterios de inclusión se realizó con el fin de establecer reglas claras para seleccionar los estudios que formarían parte de la revisión, considerando aspectos como el tipo de documento, el periodo de publicación y la relación con el tema de estudio, los mismos que permiten definir qué investigaciones cumplen con las condiciones necesarias para ser analizadas y facilitan un proceso de selección coherente, además, su definición previa ayuda a delimitar el alcance del estudio y a reducir sesgos en la selección de la evidencia, según el manual del Joanna Briggs Institute (JBI), los criterios de inclusión deben estar bien definidos y servir como guía para decidir qué fuentes se integran en la revisión, lo que aporta consistencia al proceso (Aromataris et al., 2024), los criterios de selección se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Criterios de selección de estudios
Fuente: Los autores.

Tipo de criterio	Descripción
Inclusión	Estudios publicados entre 2022–2026
Inclusión	Se incluirán únicamente artículos científicos originales publicados en revistas indexadas
Inclusión	Investigaciones sobre aprendizaje inteligente en educación y programación
Inclusión	Artículos revisados por pares
Exclusión	Estudios fuera del contexto educativo
Exclusión	Se excluirán todos los documentos que no correspondan a artículos científicos originales, tales como tesis, libros, revisiones, editoriales y resúmenes de congresos
Exclusión	Documentos no científicos
Exclusión	Artículos sin acceso completo

2.1.5 Criterios de evaluación de calidad

Se definieron criterios de evaluación de calidad que permiten analizar la validez, coherencia y aporte de cada investigación seleccionada, en este proceso se revisaron aspectos como el diseño de investigación, la relación entre objetivos y resultados, la pertinencia del estudio con el tema de la inteligencia artificial

en la enseñanza de la programación, así como la claridad en la presentación de los hallazgos, se consideró la calidad de la fuente y el reconocimiento de limitaciones por parte de los autores.

Este enfoque se respalda en estudios como el de Bolaño-García & Duarte-Acosta (2023), quienes señalan que la evaluación de calidad permite identificar beneficios, tendencias y limitaciones del uso de la inteligencia artificial en educación, lo que fortalece la interpretación de los resultados y el valor de las conclusiones, en este sentido, y con el fin de organizar estos criterios de manera estructurada, se estableció una escala de valoración de cinco niveles que clasifica las publicaciones según su rigor metodológico y nivel de evidencia, como se presenta en la Tabla 2:

Tabla 2. Criterios de evaluación de calidad

Fuente: Los autores.

Puntuación	Criterio
1	Constituyen estudios descriptivos o conceptuales sobre aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación, sin una base metodológica clara ni evidencia empírica.
2	Presentan aportes teóricos o revisiones generales sobre herramientas o enfoques de aprendizaje inteligente aplicados a la programación, con escasa profundidad metodológica.
3	Incluyen propuestas metodológicas, diseños de intervención o aplicaciones de herramientas de aprendizaje inteligente en contextos de enseñanza de la programación, debidamente fundamentadas.
4	Presentan experiencias prácticas de implementación de herramientas de aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación en contextos reales de aprendizaje, con análisis de resultados.
5	Además de lo contemplado en el nivel 4, evalúan rigurosamente la implementación de herramientas de aprendizaje inteligente IA, mostrando resultados claros, comparables y replicables sobre el aprendizaje de la programación.

2.1.6 Fuentes de información

La búsqueda de información se realizó en bases de datos científicas reconocidas como Scopus e IEEE Xplore. El uso combinado de estas fuentes permite garantizar una mayor cobertura y calidad en la selección de estudios, reduciendo posibles sesgos, tal como señalan Martínez Lobo & Martínez Romero (2022). Estas bases de datos fueron seleccionadas por su prestigio académico, la rigurosidad de sus procesos de indexación y la amplia cobertura de literatura científica en las áreas de estudio abordadas. Por esta razón, no se consideraron otras bases de datos, ya que Scopus e IEEE Xplore proporcionan un conjunto de publicaciones suficiente, confiable y pertinente para alcanzar los objetivos de la investigación.

2.1.7 Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda se basó en la combinación de palabras clave relacionadas con el aprendizaje inteligente y la enseñanza de la programación, utilizando operadores booleanos como AND y OR, se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3. Estrategia de búsqueda por base de datos

Fuente: Los autores.

Base de datos	Ecuación de búsqueda	URL
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((“artificial intelligence” OR “AI” OR “machine learning” OR “deep learning”) AND (“programming education” OR “computer programming” OR coding OR “computer science education”) AND (“intelligent tutoring system*” OR “adaptive learning” OR “personalized learning” OR “adaptive system*” OR “smart learning”)) AND PUBYEAR > 2021 AND PUBYEAR < 2027 AND (LIMIT-TO (OA , “all”)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”))	https://www.scopus.com
IEEE Xplore	(“All Metadata”: (“artificial intelligence” OR “AI” OR “machine learning” OR “deep learning”) AND (“programming education” OR “computer programming” OR coding OR “computer science education”) AND (“intelligent tutoring system” OR “adaptive learning” OR “personalized learning” OR “adaptive systems” OR “smart learning”))	https://ieeexplore.ieee.org

2.2 Fase 2: Realizar la revisión sistemática

Se realizó la búsqueda en las bases de datos seleccionadas, seguida de un proceso de filtrado por título, resumen y texto completo, este procedimiento permitió seleccionar los estudios relevantes, reduciendo sesgos y asegurando la calidad de la información analizada, se describen las etapas siguientes de este proceso:

2.2.1 Identificación de estudios relevantes

La identificación de estudios se realizó a través de la ejecución de búsquedas sistemáticas utilizando las palabras clave definidas previamente, las mismas fueron refinadas mediante la aplicación de filtros específicos, con el fin de ajustar los resultados a los criterios de inclusión establecidos y mejorar su relevancia, como resultado de este proceso, se obtuvo un conjunto preliminar de estudios pertinentes, que fueron considerados para las siguientes fases de evaluación y análisis dentro de la revisión sistemática.



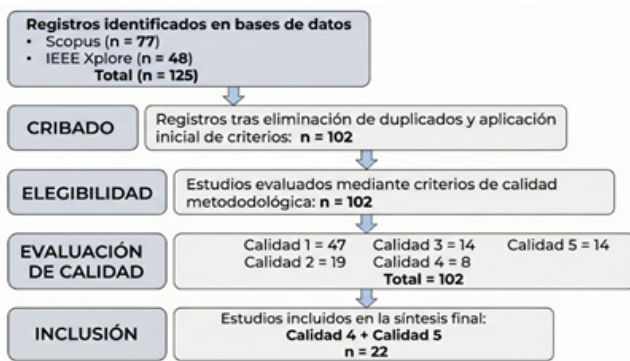
2.2.2 Proceso de selección de estudios

La búsqueda inicial identificó 125 registros provenientes de Scopus (n = 77) e IEEE Xplore (n = 48). Posteriormente, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión definidos en el protocolo de revisión, obteniéndose 102 estudios potencialmente relevantes. Estos artículos fueron sometidos a una evaluación de calidad metodológica mediante una escala de cinco niveles. Por último, se seleccionaron únicamente los estudios clasificados en los niveles 4 y 5, obteniéndose una muestra final de 22 investigaciones para el análisis y síntesis de resultados.

Con el propósito de garantizar la transparencia, trazabilidad y reproducibilidad del proceso de selección de estudios, se incorporó el diagrama de flujo PRISMA 2020, el cual permite documentar de manera sistemática las diferentes etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los registros recuperados. Como se observa en la Figura 2, este procedimiento facilita la comprensión del proceso seguido para la conformación de la muestra final de estudios analizados y fortalece el rigor metodológico de la revisión sistemática al reducir posibles sesgos durante la selección de la evidencia científica.

Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA 2020 del proceso de selección de estudios.

Fuente: Elaboración propia basada en las directrices PRISMA 2020 (Page et al., 2021).



2.2.3 Extracción de datos

Previo a la extracción de datos, la información se organiza mediante la elaboración de una tabla estructurada, en la cual se registran los datos generales de cada documento, conocidos como “datos de pantalla”, la misma se puede visualizar en la Tabla 4, permite sistematizar información clave como el título, objetivo de estudio, tipo de documento, autor(es), año de publicación, país de origen y enlace de acceso (URL o DOI).

El propósito de esta organización inicial es facilitar la

identificación, clasificación y comparación de las fuentes seleccionadas, asegurando un manejo ordenado y coherente de la información, pues, en esta etapa contribuye a mejorar la trazabilidad de los documentos analizados y sienta las bases para un proceso de extracción de datos preciso y eficiente.

Tabla 4. Datos de pantalla
 Fuente: Los autores.

Campo	Descripción
Título	Nombre del documento o estudio analizado
Objetivo de estudio	Propósito de realizar el estudio
Tipo de documento	Deben ser artículos
País	Lugar de procedencia o publicación del documento
URL / DOI	Enlace web o identificador digital del documento
Año de publicación	Fecha en la que fue publicado el documento
Autor(es)	Nombre(s) de quien(es) elaboraron el documento
Base de datos / Fuente	Plataforma o repositorio donde se encontró la información
Resumen	Breve descripción del contenido del documento
Palabras clave	Términos principales que describen el tema del documento

Después del proceso descrito anteriormente se diseñó una matriz de extracción como se ve en la Tabla 5, su propósito fue recopilar información de los estudios seleccionados tras aplicar criterios de evaluación de calidad, lo que permitió organizar los datos de manera estructurada, pues, este proceso facilita la identificación de patrones y tendencias en el uso de tecnologías inteligentes, tal como destaca Adil Shah (2025).

Tabla 5. Criterios para la matriz de extracción de datos
 Fuente: Los autores.

Variable	Descripción
Código	Identificador dentro de la matriz
Título	Conservar el título original
Autor/Año	Identificación del estudio
Nivel de aprendizaje inteligente usado	Adaptativo, generativo, tutor inteligente
Contexto	Nivel educativo
Beneficios	Resultados positivos
Limitaciones	Problemas identificados

2.2.4 Síntesis y análisis de la información

La información recopilada fue analizada mediante un enfoque analítico-sintético, lo que permitió identificar tendencias en el aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación, a más de esto, se aplicó un análisis de contenido con un enfoque cualitativo, orientado a interpretar y categorizar la información obtenida, profundizando en los significados, percepciones y patrones emergentes presentes en los datos, lo que facilitó una comprensión más integral del fenómeno estudiado.

2.3 Fase 3: Documentar la revisión

Los resultados fueron organizados de manera estructurada para dar respuestas a las preguntas de investigación, Mustafa et al. (2024b), resaltan que este tipo de síntesis es imprescindible para comprender el fenómeno estudiado.

3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados

3.1.1 Caracterización de los estudios recuperados

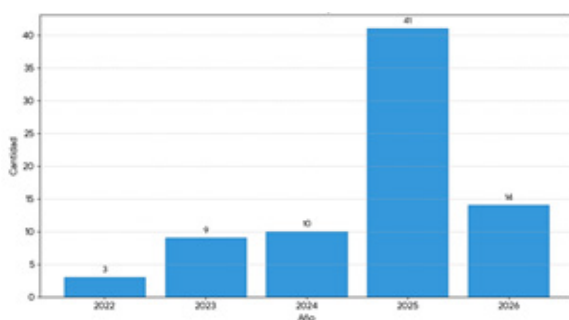
Con el propósito de identificar la evolución de la investigación relacionada con el aprendizaje inteligente aplicado a la enseñanza de la programación, se realizó un análisis descriptivo de la producción científica recuperada en las bases de datos Scopus e IEEE Xplore durante el periodo 2022-2026.

Scopus

El análisis de la productividad científica indexada en Scopus evidencia una tendencia de crecimiento sostenido durante el periodo analizado. Como se observa en la Figura 3, el número de publicaciones pasó de 3 documentos en 2022 a 9 en 2023 y 10 en 2024. El incremento más pronunciado se registró en 2025, año en el que se identificaron 41 publicaciones. Para el primer cuatrimestre de 2026 se recuperaron 14 investigaciones, considerando como fecha de corte el 30 de abril de 2026. La base de datos Scopus aportó 77 documentos, constituyéndose como la principal fuente de evidencia científica considerada en esta revisión.

Figura 3. Publicaciones por año Scopus

Fuente: Los autores.



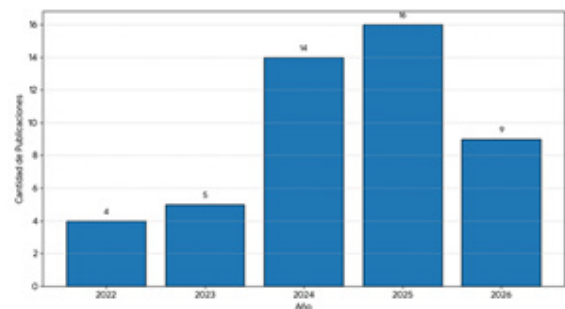
La evolución observada refleja un aumento significativo del interés académico por la incorporación de tecnologías inteligentes, inteligencia artificial y sistemas adaptativos en la enseñanza de la programación. El crecimiento registrado a partir de 2024 sugiere una fase de expansión del campo de estudio asociada al desarrollo de modelos generativos, sistemas tutoriales inteligentes y plataformas de aprendizaje adaptativo.

IEEE Xplore

La producción científica identificada en IEEE Xplore presenta una evolución similar. Como se aprecia en la Figura 4, las publicaciones aumentaron de 4 estudios en 2022 a 5 en 2023. Durante 2024 se registraron 14 publicaciones y en 2025 se alcanzaron 16 investigaciones. Para el primer cuatrimestre de 2026 se identificaron 9 estudios utilizando la misma fecha de corte. IEEE Xplore aportó 48 documentos relacionados con el objeto de estudio.

Figura 4. Publicaciones por año IEEE Xplore

Fuente: Los autores.



La tendencia observada confirma el creciente interés de la comunidad científica por el desarrollo de soluciones basadas en inteligencia artificial orientadas al fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la programación. La presencia constante de publicaciones recientes evidencia que se trata de una línea de investigación activa, caracterizada por la incorporación de sistemas tutoriales inteligentes, modelos de lenguaje, aprendizaje adaptativo y entornos inmersivos.

3.1.2 Resultados de la evaluación de calidad

Una vez concluido el proceso de selección de estudios descrito en la Figura 2, se procedió a la evaluación de calidad metodológica de los 102 artículos potencialmente relevantes. Para ello, se aplicó la escala de valoración de cinco niveles definida en el protocolo de revisión, con el propósito de determinar el rigor metodológico, la pertinencia y la solidez de la evidencia aportada por cada investigación.

Los resultados muestran una distribución heterogénea de la calidad metodológica de los estudios analizados. Como se observa en la Tabla 6, 47 artículos fueron clasificados en el nivel 1, 19 en el nivel 2, 14 en el nivel 3, 8 en el nivel 4 y 14 en el nivel 5. La concordancia entre los evaluadores fue determinada mediante el coeficiente Kappa de Cohen, obteniéndose un valor de $\kappa = 0.82$,

indicador de una concordancia casi perfecta. Los casos en los que existieron discrepancias fueron revisados nuevamente hasta alcanzar consenso en la clasificación definitiva.

Tabla 6. Resultados de aplicar criterios de calidad
Fuente: Los autores.

Criterios de Calidad	Número de Artículos
1	47
2	19
3	14
4	8
5	14
Total	102

La distribución observada en la Tabla 6, evidencia que 47 de los 102 estudios evaluados (46,08 %) fueron clasificados en el nivel más bajo de calidad metodológica. Este resultado sugiere que una proporción importante de la producción científica disponible aún se concentra en estudios descriptivos o conceptuales que presentan escasa evidencia empírica y limitada validación en contextos educativos reales. Este comportamiento es característico de áreas de investigación emergentes que atraviesan procesos de consolidación teórica y metodológica.

Los niveles 4 y 5 concentraron 22 investigaciones caracterizadas por presentar implementaciones reales, análisis sistemáticos de resultados y evidencia empírica sólida sobre la aplicación de tecnologías inteligentes en la enseñanza de la programación. Estas investigaciones proporcionan resultados comparables, verificables y metodológicamente consistentes, condiciones necesarias para sustentar una síntesis rigurosa de la evidencia científica.

Los estudios clasificados en el nivel 3 fueron considerados durante la evaluación de calidad debido a que presentaban propuestas metodológicas fundamentadas y aplicaciones potencialmente relevantes. Sin embargo, dichos estudios no fueron incorporados a la matriz de extracción debido a que, en la mayoría de los casos, no reportaban validaciones empíricas suficientemente robustas ni resultados comparables con los observados en los niveles superiores. La exclusión de estos documentos respondió al propósito de fundamentar la síntesis exclusivamente en investigaciones respaldadas por evidencia práctica y procedimientos metodológicos consolidados.

3.1.3 Estudios seleccionados para la síntesis de evidencia

La muestra definitiva quedó conformada por 22 estudios

clasificados en los niveles 4 y 5 de calidad metodológica, los mismo fueron seleccionados debido a que presentaban implementaciones reales de tecnologías de aprendizaje inteligente, procedimientos metodológicos claramente definidos y resultados respaldados por evidencia empírica obtenida en contextos educativos. La selección de estudios con los niveles más altos de calidad permitió garantizar una base sólida para el análisis, reduciendo el riesgo de incorporar evidencia insuficientemente validada o con limitaciones metodológicas significativas.

La información recuperada fue sistematizada mediante la matriz de extracción de datos presentada en la Tabla 7, pues, este procedimiento permitió organizar de manera estructurada variables relacionadas con los enfoques de aprendizaje inteligente implementados, los contextos educativos de aplicación, las herramientas tecnológicas utilizadas, los beneficios obtenidos y las limitaciones reportadas por los autores. La utilización de esta matriz de extracción facilitó la comparación entre investigaciones y permitió identificar similitudes, diferencias y tendencias recurrentes dentro de la literatura analizada.

Los estudios seleccionados proceden de diversos contextos educativos y tecnológicos, incluyendo educación secundaria, educación superior, formación profesional y entornos de aprendizaje asistidos por inteligencia artificial. Asimismo, abarcan diferentes enfoques de aprendizaje inteligente, tales como sistemas de tutoría inteligente, plataformas adaptativas, modelos basados en grandes modelos de lenguaje, sistemas de recomendación personalizados y entornos inmersivos apoyados por realidad virtual y gamificación. Esta diversidad permitió obtener una visión amplia sobre las formas en que las tecnologías inteligentes están siendo incorporadas en la enseñanza de la programación.

El análisis de los estudios también permitió identificar patrones comunes relacionados con los efectos del aprendizaje inteligente sobre el rendimiento académico, la motivación, el pensamiento computacional, la resolución de problemas y las habilidades de programación. De igual manera, se identificaron limitaciones recurrentes asociadas con la dependencia excesiva de herramientas generativas, la precisión de las respuestas proporcionadas por los sistemas basados en inteligencia artificial y la necesidad de una adecuada mediación docente para garantizar un uso pedagógicamente pertinente de estas tecnologías.

La evidencia sintetizada a partir de los 22 estudios seleccionados proporcionó información suficiente para responder las preguntas de investigación planteadas en el estudio. En particular, permitió identificar los principales enfoques de aprendizaje inteligente aplicados a la programación, analizar su impacto en los procesos

de enseñanza y aprendizaje, reconocer las oportunidades y desafíos asociados a su implementación y determinar las

herramientas tecnológicas que actualmente presentan mayor presencia en este campo de investigación.

Tabla 7. Matriz de extracción de datos
Fuente: Los autores.

Código	Título en Español	Autor/Año	Nivel de aprendizaje inteligente usado	Contexto	Beneficios	Limitaciones
A1	SP-TeachLLM: Un marco impulsado por LLM para la educación personalizada y adaptativa en programación	Huang et al. (2025)	Generativo y adaptativo	Educación en programación / computer science	Mejora el dominio de conocimiento, la resolución de problemas y el desempeño docente; propone tutoría inteligente personalizada y adaptable	El problema identificado es que muchas aplicaciones con LLM siguen siendo limitadas, con poca planificación instruccional sistemática y escasa adaptación a perfiles diversos de estudiantes
A2	Un juego adaptativo de realidad virtual para la enseñanza de programación utilizando mapas cognitivos difusos y modelos pedagógicos	Marougkas et al. (2025)	Adaptativo	Educación en programación con realidad virtual para Java	Mejora el rendimiento en tareas, los resultados de conocimiento y reduce errores mediante personalización en tiempo real	Se señala que muchas experiencias VR no integran bien modelos pedagógicos ni se adaptan al estilo de aprendizaje individual
A3	Mejorando el rendimiento de los estudiantes en programación: un enfoque integrado de mapas mentales y chatbot de IA generativa	Ye et al. (2025)	Generativo	Estudiantes de séptimo grado en China; aprendizaje de programación	Mejora el rendimiento en programación y el pensamiento computacional; el mapeo progresivo resultó más eficaz	Se advierte el riesgo de sobredependencia del chatbot, lo que puede debilitar el pensamiento independiente
A4	Aprendizaje de programación apoyado por inteligencia artificial generativa: efectividad del aprendizaje y competencias fundamentales	Li et al. (2025)	Generativo	Curso de programación en una escuela vocacional de China	Mejora significativamente los resultados de aprendizaje, la motivación, la autoeficacia y las competencias 5C	El estudio parte del problema de una enseñanza centrada en lo técnico, con poca guía práctica y escasa personalización para estudiantes con niveles distintos
A5	Educación adaptativa en programación basada en IA para estudiantes socialmente desfavorecidos: reduciendo la brecha digital	Katona & Gyonyoru (2025)	IA adaptativa basada en ChatGPT y algoritmos de aprendizaje automático	Educación en programación para estudiantes socialmente desfavorecidos en universidades de Hungría	Mejoró el rendimiento académico, el compromiso cognitivo, emocional y conductual; personalización del aprendizaje; retroalimentación inmediata	Duración corta del estudio (13 semanas), posible sesgo de selección, dependencia de datos auto reportados y riesgo de sesgo algorítmico
A6	PyChatAI: Mejorando las habilidades de programación en Python, un estudio empírico de un sistema de aprendizaje inteligente	Alanazi, Soh, et al. (2025)	Generativo y tutor inteligente	Python para principiantes en Arabia Saudita	Da retroalimentación en tiempo real, apoyo personalizado y mejora especialmente la comprensión teórica, escritura de código y depuración	El problema de fondo es que los principiantes tienen dificultades con la depuración y muchas herramientas existentes no son proactivas ni están alineadas al currículo
A7	Examinando la influencia de la IA en la educación de programación en Python: un estudio empírico y análisis de la aceptación estudiantil mediante TAM3	Alanazi, Li, et al. (2025)	Generativo y tutor inteligente	Estudiantes mujeres de informática en Jouf University, Arabia Saudita	Muestra que la utilidad percibida y la facilidad de uso impulsan la intención de uso, valida la aceptación de herramientas bilingües de IA	El alcance es específico, contexto bilingüe y femenino, por lo que la generalización a otros grupos puede ser limitada, además, el impacto de la influencia social y factores cognitivos fue bajo



A8	PyTutor: eficacia de un sistema de tutoría inteligente basado en ChatGPT para la enseñanza de programación	A. C. M. Yang et al. (2024)	Tutor inteligente	Estudiantes principiantes de Python	El estudio ofrece pistas estructuradas, explicaciones y guía continua, mejora participación, tasas de completitud y éxito, sobre todo en estudiantes con bases débiles	Se identifica el riesgo de sobredependencia del sistema, lo que puede frenar el desarrollo de la resolución independiente de problemas
A9	Una aplicación móvil inteligente basada en ChatGPT para mejorar las habilidades de programación en C# en estudiantes de instituciones educativas	Atta et al. (2025)	Generativo y tutor inteligente	Educación superior, aprendizaje de C# en instituciones educativas	Proporciona asistencia personalizada, depuración en tiempo real y mejora el rendimiento estudiantil con apoyo móvil accesible	El artículo indica la necesidad de un uso guiado y controlado de IA, porque el acceso libre a ChatGPT puede no favorecer un aprendizaje estructurado
A10	PerFuSIT: estrategias personalizadas de lógica difusa para la tutoría inteligente en programación	Chrysafiadi & Virvou (2024)	Adaptativo y tutor inteligente	Estudiantes universitarios de informática en Grecia	Selecciona estrategias de tutoría según desempeño, errores y tiempo, mejora el rendimiento y la eficacia de interacción con el Intelligent Tutoring System	El reto principal es modelar datos complejos y vagos del estudiante, así como diagnosticar distintos tipos de error y ajustar la tutoría en tiempo real
A11	Evaluación de la experiencia del usuario, adaptabilidad y resultados de aprendizaje de un sistema de tutoría inteligente basado en lógica difusa para programación en estudiantes universitarios de Grecia	Chrysafiadi et al. (2023)	Adaptativo y tutor inteligente	Estudiantes universitarios de informática en Grecia	Mejora satisfacción, aprendizaje, precisión de recomendaciones, eficacia de interacción, compromiso y motivación	El campo de programación exige actualización frecuente y atiende a estudiantes con perfiles heterogéneos, lo que complica la adaptación de la tutoría
A12	Despliegue integral del Centro Educativo de IA para el aprendizaje personalizado y el compromiso estudiantil	Sajja et al. (2025)	Generativo y adaptativo	Educación en ciencias ambientales y multidisciplinar	Mejora la comprensión, el acceso a información compleja y el engagement mediante asistentes conversacionales personalizados	Dependencia de precisión en recuperación de información y riesgos como alucinaciones en respuestas del modelo
A13	Marco de recomendación personalizada utilizando LLM y prompting Chain-of-Thought	Hongthong et al. (2025)	Generativo y adaptativo	Curso de programación	Mejora la personalización, motivación y calidad de recomendaciones mediante razonamiento paso a paso (CoT)	Falta de integración de preferencias multimodales y dependencia de datos estructurados para personalización efectiva
A14	Redes de memoria difusa y esquemas contextuales: mejorando las respuestas de ChatGPT	Troussas et al. (2025)	Generativo, adaptativo y tutor inteligente	Educación en programación (Java, nivel universitario)	Mejora la personalización, memoria contextual y calidad de respuestas adaptativas	Los sistemas previos carecen de memoria contextual y priorización de información, afectando la adaptabilidad
A15	Aprendizaje adaptativo con factores humanos e inteligencia artificial	Lin et al. (2025)	Adaptativo	Educación en programación	Mejora motivación, interés y rendimiento mediante integración de factores psicológicos y ergonomía	No establece causalidad fuerte ni comparación con sistemas no adaptativos

A16	Marco de aprendizaje basado en LLM para retroalimentación adaptativa en entornos XR gamificados	Gianni et al. (2025)	Generativo y adaptativo	Educación en informática con XR y gamificación	Incrementa motivación (22%) y reduce errores mediante feedback en tiempo real	Sistemas actuales carecen de personalización dinámica y feedback adaptativo en entornos XR
A17	Un enfoque basado en conocimiento para la creación personalizada de exámenes mediante IA	Wu & Wan (2025)	Adaptativo	Educación en programación (evaluación)	Genera evaluaciones personalizadas según nivel del estudiante, mejora aprendizaje	Sistemas tradicionales no relacionan dificultad con habilidades del estudiante ni adaptan dinámicamente
A18	ITS-CAL: sistema de tutoría inteligente para codificación y aprendizaje	Lai & Lin (2025b)	Generativo y tutor inteligente	Educación superior en programación	Proporciona feedback inmediato y mejora tasas de aprobación cuando se usa moderadamente	Uso excesivo reduce habilidades de resolución independiente y dependencia del sistema
A19	La inteligencia artificial apoyando el aprendizaje independiente de los estudiantes	Hartley et al. (2024)	Generativo	Aprendizaje autónomo de programación	Facilita aprendizaje autodirigido, planificación y comprensión de conceptos	Limitaciones en evaluación, interacción y dependencia de habilidades metacognitivas del estudiante
A20	¿Puede la inteligencia artificial ayudar en la educación de ciencias de la computación? Un enfoque de metaanálisis	Tlili (2024b)	Tutor inteligente y adaptativo	Educación en ciencias de la computación (meta-análisis)	Evidencia un gran efecto positivo de la IA (g=1.36), especialmente STI	Falta de estudios específicos en CS y variabilidad según duración y contexto
A21	Revisión sistemática de literatura sobre aplicaciones de LLM en la evaluación de la enseñanza de programación	Pereira & Ferreira Mello (2025)	Generativo	Evaluación en educación en programación	Mejora feedback automático, debugging y aprendizaje personalizado	Riesgo de sobredependencia y necesidad de supervisión humana para aprendizaje profundo
A22	ProgTutor: un marco basado en robótica para apoyar la enseñanza y aprendizaje de fundamentos de programación	Ortega-Morla et al. (2025)	Adaptativo y tutor inteligente	Educación secundaria en programación con robótica	Mejora aprendizaje práctico, feedback automático y rutas personalizadas	Aún en fase piloto; falta evidencia de impacto a largo plazo y adopción en sistemas educativos formales

3.1.4 Respuestas a preguntas de investigación

PI1: ¿Qué enfoques de aprendizaje inteligente se han aplicado en la enseñanza de la programación y cuáles son sus características principales?

Los enfoques identificados se agrupan en cinco grandes líneas; 1) los tutores inteligentes basados en LLM y chatbots ofrecen explicación de código, pistas graduadas, retroalimentación inmediata y tutoría conversacional, con especial eficacia para principiantes y para escenarios donde el acompañamiento humano no es constante (Yang et al., 2024; Alanazi et al., 2025a; Alanazi et al., 2025b; Hartley et al., 2024; Pereira & Mello, 2025), 2) los sistemas adaptativos con lógica difusa o modelos de conocimiento priorizan la personalización mediante perfiles de desempeño, errores, frecuencia de ayuda y tiempo de resolución, lo que permite seleccionar estrategias instruccionales más finas y explicar mejor la decisión del sistema (Chrysafiadi & Virvou, 2024; Chrysafiadi et al., 2023; Troussas et al., 2025; Wu & Wan, 2025), 3) los entornos inmersivos VR/XR con gamificación introducen aprendizaje experiencial, retos progresivos, motivación y apoyo contextual en tiempo real (Maroukias et al., 2025; Gianni et al., 2025), 4) las plataformas de recomendación y evaluación personalizada ajustan recursos, actividades y pruebas

a las necesidades del estudiante, incluyendo CoT prompting, bancos de preguntas adaptativos y sistemas de feedback automatizado (Hongthong et al., 2025; Wu & Wan, 2025; Pereira & Mello, 2025), 5) aparecen propuestas de augmentación docente y simulación aplicada, donde la IA no reemplaza al profesor, sino que lo asiste mediante rutas dinámicas, evaluación automática y apoyo al trabajo práctico (Ortega-Morla et al., 2025; Lin et al., 2025).

Tabla 8. Características de los enfoques usados en la enseñanza de la programación
Fuente: Los autores.

Categoría	Enfoque	Características principales	Documento
1	LLM/chatbots/ STI	Retroalimentación inmediata, explicación de código, tutoría conversacional, pistas graduadas, soporte continuo	Huang et al., 2025; Alanazi et al., 2025a; Yang et al., 2024; Hartley et al., 2024; Pereira & Mello, 2025



Tabla 9. Impacto del aprendizaje inteligente
 Fuente: Los autores.

Resultado observado	Hallazgo principal	Evidencia cuantitativa reportada	Estudios
Rendimiento académico	Mejora en puntajes, logro y aprobación	Tasa de aprobación de 72.22 % con uso moderado de ITS-CAL	Ye et al., 2025; Alanazi et al., 2025a; Atta et al., 2025; Li et al., 2025; Lai & Lin, 2025
Habilidades técnicas	Mejor escritura de código, depuración y resolución de problemas	Evidencia positiva, aunque los estudios revisados no reportan tamaños de efecto comparables en los fragmentos analizados	Yang et al., 2024; Alanazi et al., 2025a; Hartley et al., 2024; Pereira & Mello, 2025
Variables afectivas	Aumento de motivación, autoeficacia, interés y compromiso	Incremento de motivación de 22 % y reducción de reintentos superior al 40 %	Li et al., 2025; Lin et al., 2025; Gianni et al., 2025; Sajja et al., 2025
Personalización efectiva	Mayor beneficio para estudiantes con menor base o necesidades específicas	Utilidad percibida → intención de uso ($\beta = 0.446$; $p < .001$); facilidad de uso → intención de uso ($\beta = 0.243$; $p = .005$)	Yang et al., 2024; Lai & Lin, 2025; Chrysafiadi et al., 2023; Alanazi et al., 2025b
Efecto global	La IA muestra un impacto muy grande en CS; los STI son los más potentes	Tamaño de efecto global $g = 1.36$ ($p < .001$); ITS $g = 1.45$; meta-análisis de 28 estudios y 2765 participantes	Tlili, 2024

Los tutores inteligentes también muestran efectos importantes, aunque con matices, PyTutor benefició especialmente a estudiantes con bases débiles, elevando la participación y el éxito en tareas, aunque el estudio advierte riesgo de dependencia (Yang et al., 2024), ITS-CAL (Intelligent Tutoring System for Coding and Learning) mostró que el uso moderado se asoció con la mejor tasa de aprobación, mientras que el uso excesivo redujo la autonomía del estudiante (Lai & Lin, 2025), PerFuSIT y el ITS difuso evaluado en Grecia mejoraron la eficacia de la interacción y la satisfacción, confirmando que la adaptación bien

2	Adaptación difusa y basada en conocimiento	Modelado del estudiante, manejo de incertidumbre, selección de estrategias, memoria contextual	Chrysafiadi & Virvou, 2024; Chrysafiadi et al., 2023; Troussas et al., 2025; Wu & Wan, 2025
3	VR/XR y gamificación	Inmersión, motivación, balance retro-habilidad, feedback en tiempo real	Maroungkas et al., 2025; Gianni et al., 2025
4	Recomendación y evaluación personalizada	CoT prompting, generación de pruebas, feedback automático, ajuste al nivel del alumno	Hongthong et al., 2025; Wu & Wan, 2025; Pereira & Mello, 2025
5	Augmentación docente y simulación	Evaluación automática, rutas personalizadas, foco en el profesor como mediador	Lin et al., 2025; Ortega-Morla et al., 2025

Se debe decir que el análisis que se observa en la Tabla 8, no presenta un único modelo de “aprendizaje inteligente”, sino una convergencia de arquitecturas que comparten cuatro rasgos: personalización, retroalimentación inmediata, adaptación al desempeño y soporte escalable, pues, el aporte más consistente es que la IA se usa para convertir la enseñanza de programación en una experiencia situada, más interactiva y menos rígida que la instrucción tradicional (Huang et al., 2025; Ye et al., 2025; Li et al., 2025; Alanazi et al., 2025b; Lin et al., 2025; Ortega-Morla et al., 2025).

PI2: ¿Cuál es el impacto del aprendizaje inteligente en el rendimiento académico y la adquisición de habilidades de programación en estudiantes?

La evidencia es mayoritariamente favorable, ya que en los estudios experimentales y cuasi experimentales, el aprendizaje inteligente mejora el rendimiento académico, la comprensión de conceptos, la escritura de código, la depuración, el pensamiento computacional, la autoeficacia y la motivación, un ejemplo de esto es, el enfoque combinado de mapeo mental y GenAI produjo mejores resultados que el modelo tradicional en programación y pensamiento computacional (Ye et al., 2025), PyChatAI mejoró de forma significativa la comprensión teórica, la escritura y la depuración en Python (Alanazi et al., 2025a), mientras que la aplicación móvil con ChatGPT para C# reportó mejoras estadísticamente significativas en el desempeño estudiantil (Atta et al., 2025), alineado a esto, la intervención de GAI en programación elevó aprendizaje, motivación, autoeficacia y competencias 5C (Li et al., 2025), estos resultados se presentan en la Tabla 9.

calibrada si favorece el aprendizaje (Chrysaftadi & Virvou, 2024; Chrysaftadi et al., 2023), a escala agregada, el metaanálisis de Tlili (2024c) encontró un tamaño de efecto grande de la IA sobre el aprendizaje en ciencias de la computación, siendo alto para los sistemas tutoriales inteligentes.

En términos pedagógicos, el impacto no se limita a “saber más código”, pues, varios estudios muestran mejora en autorregulación, motivación sostenida, manejo de errores y confianza para resolver tareas, esto sugiere que el aprendizaje inteligente no solo acelera el rendimiento, sino que también fortalece condiciones psicológicas y cognitivas necesarias para persistir en programación, un campo reconocido por su alta carga cognitiva (Hartley et al., 2024; Lin et al., 2025; Gianni et al., 2025; Hongthong et al., 2025).

PI3: ¿Qué desafíos, limitaciones y oportunidades se han identificado en la implementación del aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación?

Las limitaciones y oportunidades se muestran en la Tabla 10, pues, el principal desafío es la sobredependencia, estudios advierten que, aunque la IA ayuda, un uso excesivo puede debilitar la resolución independiente de problemas, especialmente en principiantes (Ye et al., 2025; Yang et al., 2024; Lai & Lin, 2025; Pereira & Mello, 2025).

A esto se suma el hecho de que la programación requiere razonamiento gradual, práctica deliberada y corrección de errores, por lo que una tutoría automática demasiado directa puede dar respuestas correctas sin desarrollar comprensión profunda, en este punto, Hartley et al. (2024), indican que la eficacia de ChatGPT depende en gran medida de las habilidades metacognitivas del estudiante para pedir ayuda y evaluar límites del sistema.

Tabla 10. Limitaciones y oportunidades en la implementación del aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación
Fuente: Los autores.

Desafío o limitación	Descripción	Oportunidad asociada
Dependencia excesiva	El estudiante puede usar las herramientas de aprendizaje inteligente como atajo y no como apoyo	Diseñar uso guiado, con andamiaje y reflexión
Personalización incompleta	No todos los sistemas capturan bien estilo, nivel o contexto	Modelos más finos con analítica, memoria y datos multimodales
Precisión y alucinaciones	Algunos modelos generan respuestas no fiables	Integrar validación, recuperación y supervisión docente
Falta de evidencia a largo plazo	Muchos estudios son pilotos o casos puntuales	Realizar ensayos longitudinales y comparativos
Brecha de acceso	El soporte inteligente no llega igual a todos los grupos	Ampliar cobertura a contextos desfavorecidos y bilingües

Otra limitación reiterada es la precisión del sistema, Sajja et al. (2025) muestra que la recuperación de información y la generación de respuestas deben controlarse para evitar alucinaciones y respuestas no recuperables, en la misma línea, los estudios basados en lógica difusa y memoria contextual reconocen que todavía hay dificultad para modelar incertidumbre, distinguir errores diversos y sostener adaptaciones robustas en tiempo real (Chrysaftadi & Virvou, 2024; Chrysaftadi et al., 2023; Troussas et al., 2025), Lin et al. (2025) añaden que, aunque la motivación y el interés se asocian con mejores resultados, aún hacen falta estudios causales comparativos para afirmar superioridad frente a sistemas no adaptativos.

Aun así, las oportunidades son muy claras, la IA permite escalar la tutoría, reducir la carga docente, dar soporte a cursos masivos, mejorar la inclusión lingüística y cultural y atender a estudiantes con menor capital académico o tecnológico. PyChatAI y el estudio TAM3 muestran que una herramienta bilingüe y culturalmente situada puede ser especialmente valiosa en contextos específicos (Alanazi et al., 2025a, 2025b), en paralelo, el trabajo de AI-based adaptive programming education para estudiantes socialmente desfavorecidos demuestra que la IA puede contribuir a cerrar brechas socioeducativas en programación (Katona & Katonane Gyonyoru, 2025), programas como ProgTutor, además, muestran una oportunidad estratégica: la IA no sustituye al docente, sino que lo aumenta y le permite concentrarse en los casos que más apoyo requieren (Ortega-Morla et al., 2025).

PI4: ¿Qué herramientas de aprendizaje inteligente se han utilizado en la enseñanza de la programación?

Las herramientas y técnicas utilizadas son, 1) los LLM y chatbots: ChatGPT, GPT-4 y sistemas derivados como PyChatAI, PyTutor e ITS-CAL, que se usan para explicar código, responder dudas, generar pistas, apoyar depuración y ofrecer tutoría personalizada (Alanazi et al., 2025a; Yang et al., 2024; Lai & Lin, 2025; Hartley et al., 2024; Pereira & Mello, 2025), 2) aparecen modelos de lógica difusa y memoria contextual, empleados para priorizar información, seleccionar estrategias y adaptar el sistema al progreso del estudiante (Chrysaftadi & Virvou, 2024; Chrysaftadi et al., 2023; Troussas et al., 2025), 3) se utilizan técnicas de recomendación y razonamiento guiado, como chain-of-thought prompting, bancos de preguntas personalizados y sistemas de generación adaptativa de pruebas (Hongthong et al., 2025; Wu & Wan, 2025).

Tabla 10. Limitaciones y oportunidades en la implementación del aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación
Fuente: Los autores.

Herramienta / técnica	Uso en programación	Estudios
ChatGPT / GPT-4 / LLMs	Tutoría conversacional, explicación, hints, evaluación, planificación	Yang et al., 2024; Hartley et al., 2024; Pereira & Mello, 2025; Alanazi et al., 2025b





PyChatAI	Soporte bilingüe y depuración para Python	Alanazi et al., 2025a, 2025b
Lógica difusa	Selección de estrategias y personalización	Chrysaftadi & Virvou, 2024; Chrysaftadi et al., 2023
Fuzzy memory / schemas	Memoria contextual y priorización de interacciones	Troussas et al., 2025
CoT prompting	Razonamiento paso a paso en recomendaciones	Hongthong et al., 2025
MAML, gamificación, XR	Personalización adaptativa en entornos inmersivos	Gianni et al., 2025
Algoritmos genéticos	Generación personalizada de pruebas	Wu & Wan, 2025
Robótica simulada y 3D	Aprendizaje aplicado y rutas adaptativas	Ortega-Morla et al., 2025
RAG y módulos de recuperación	Respuesta más contextual y menos alucinatoria	Huang et al., 2025; Sajja et al., 2025

En la Tabla 11, se observan herramientas de realidad virtual y realidad extendida con gamificación, las cuales fusionan inmersión, motivación y feedback dinámico, así como sistemas de simulación robótica y de aumentación docente que trasladan la IA desde la respuesta textual hacia la interacción práctica y contextualizada (Maroungkas et al., 2025; Gianni et al., 2025; Ortega-Morla et al., 2025), pues las mismas no se limitan al chatbot, estas abarcan desde motores de recomendación hasta módulos de memoria, análisis afectivo, simulación y generación automática de pruebas, lo que confirma una convergencia técnica hacia ecosistemas de aprendizaje inteligente cada vez más integrados (Huang et al., 2025; Lin et al., 2025; Sajja et al., 2025).

3.2 Discusión

Los hallazgos de esta revisión muestran que el aprendizaje inteligente en programación se orienta hacia modelos centrados en personalización, tutoría adaptativa y retroalimentación inmediata, tendencia que coinciden con Wang et al. (2024), los que sostienen que la inteligencia artificial educativa ha pasado de sistemas automatizados básicos hacia ecosistemas que integran analítica de aprendizaje, modelos predictivos y adaptación pedagógica en tiempo real, donde los sistemas tutoriales inteligentes representan la línea de investigación con mayor crecimiento.

De forma similar, Hariyanto et al. (2025) identifican que los modelos adaptativos basados en IA mejoran la adecuación del contenido al perfil del estudiante mediante aprendizaje supervisado, refuerzo y análisis multimodal, aspecto que coincide con los resultados encontrados en esta revisión, donde herramientas como PerFuSIT, ITS-CAL y SP-TeachLLM utilizan desempeño, errores y tiempo de respuesta para modificar estrategias instruccionales, Garzón et al. (2025) afirma que los STI y los sistemas adaptativos se han convertido en los enfoques predominantes dentro de la AIED debido a su capacidad para responder a diferencias individuales y ampliar la cobertura educativa, resultado que guarda relación con la convergencia de arquitecturas observada en los estudios seleccionados.

En relación con el impacto académico, los resultados obtenidos coinciden con estudios recientes que reportan mejoras significativas en rendimiento, compromiso y desarrollo de habilidades de programación cuando existe integración estructurada de IA. Nathaniel et al. (2025), encontraron que el uso guiado de GenAI fortalece el pensamiento de orden superior y la lógica de programación cuando las actividades incorporan andamiaje pedagógico y retroalimentación progresiva, pues, estos efectos mantienen relación con los hallazgos de esta revisión, donde PyChatAI, PyTutor y los sistemas con CoT prompting mejoraron depuración, resolución de problemas y comprensión conceptual, alineado a esto, Phung et al. (2023), demostraron que GPT-4 alcanza niveles cercanos al desempeño de tutores humanos en escenarios de programación introductoria, aunque todavía presenta dificultades en razonamiento complejo y corrección contextual.

Respecto a las limitaciones y desafíos, la evidencia encontrada presenta coincidencias importantes con investigaciones actuales sobre riesgos asociados al uso de IA generativa en educación, Franklin et al. (2025) señalan que muchos ejercicios tradicionales de programación pueden resolverse con herramientas generativas sin que exista aprendizaje profundo, situación que obliga a replantear métodos de evaluación y diseño instruccional. Este planteamiento guarda relación con los resultados de esta revisión, donde estudios como ITS-CAL, PyTutor y los sistemas basados en ChatGPT advierten que la dependencia excesiva puede afectar autonomía y pensamiento crítico, pues, Zastudil et al. (2023), identificaron preocupación tanto en docentes como en estudiantes sobre el uso indiscriminado de modelos generativos, especialmente por problemas relacionados con integridad académica, sobre-confianza y disminución del razonamiento independiente, a esto se suman problemas de precisión y alucinaciones, situación descrita por Łodzickowski et al. (2023), quienes sostienen que la IA generativa requiere mecanismos de verificación, transparencia y control pedagógico para evitar

respuestas incorrectas o sesgadas dentro de entornos educativos.

A modo de cierre de la fase de discusión se puede decir que el futuro del aprendizaje inteligente en programación se dirige hacia modelos híbridos donde convergen IA generativa, aprendizaje adaptativo, simulación inmersiva y aumentación docente, Létourneau et al. (2025) indican que los sistemas tutoriales inteligentes actuales muestran mejores resultados cuando funcionan como apoyo pedagógico y no como reemplazo total de la interacción humana, aspecto que coincide con las propuestas de ProgTutor y los sistemas adaptativos encontrados en esta revisión, de manera complementaria, Latif et al. (2026) destacan que los STI y los robots tutoring systems representan una alternativa para enfrentar problemas globales de acceso, personalización y acompañamiento educativo, aunque recalcan la necesidad de validación longitudinal y contextos reales de aplicación.

4. Conclusiones

La revisión sistemática permitió identificar que el aprendizaje inteligente en la enseñanza de la programación ha impulsado modelos educativos orientados a la personalización, adaptación y acompañamiento continuo del estudiante, donde las herramientas basadas en inteligencia artificial ajustan actividades, retroalimentación y recursos según el desempeño individual, pues, los estudios analizados muestran que este enfoque favorece procesos de aprendizaje más dinámicos y cercanos a las necesidades reales del alumnado, sobre todo en escenarios donde la programación representa una dificultad frecuente durante las etapas iniciales de formación académica.

Los enfoques con mayor presencia corresponden a sistemas tutoriales inteligentes, modelos adaptativos y herramientas generativas basadas en LLM, los cuales evidencian aportes importantes en comprensión conceptual, resolución de problemas, escritura de código y depuración de errores, la evidencia revisada también demuestra mejoras en motivación, confianza y participación estudiantil, aspecto que permite reconocer que el aprendizaje inteligente no solo impacta en el rendimiento académico, sino también en factores asociados con permanencia y continuidad dentro de cursos de programación.

Entre las principales limitaciones identificadas destacan la dependencia excesiva de herramientas generativas, la posibilidad de respuestas incorrectas o alucinaciones y la ausencia de estudios longitudinales que permitan validar impactos sostenidos en distintos contextos educativos, del mismo modo, la efectividad de estas tecnologías depende del diseño pedagógico y del acompañamiento docente, debido a que el uso sin orientación adecuada puede afectar el razonamiento independiente y reducir procesos de análisis crítico durante la resolución de problemas de programación.

El aprendizaje inteligente tiene un gran potencial para mejorar la enseñanza de la programación al integrar la inteligencia artificial

con el acompañamiento docente de manera complementaria, ya que esto permite ofrecer experiencias más personalizadas, ampliar el acceso al aprendizaje y brindar apoyo académico a los estudiantes, siempre que el uso de la IA esté guiado por objetivos pedagógicos claros que favorezcan la autonomía, la reflexión y el desarrollo progresivo del conocimiento en programación.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a las familias de los autores por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante durante el desarrollo de esta investigación, siendo un pilar fundamental para culminar este proceso académico. Asimismo, agradecemos a la Universidad Nacional de Chimborazo por fomentar y fortalecer los procesos investigativos que contribuyen al desarrollo del conocimiento y la formación profesional.

Contribución de los autores

Edison Amador Miguez Gordillo: Conceptualización, Metodología, Investigación, Software de análisis, Redacción-revisión, edición del artículo, y borrador original del artículo.
Patricio Ricardo Humanante Ramos: Conceptualización, Metodología, Redacción-revisión, edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Adil Shah. (2025). Artificial Intelligence and Its Impact on Education and Digital Learning. *International Journal of Research & Technology*, 13(S4), 511–517. <https://doi.org/10.64882/ijrt.v13.iS4.824>
- Alanazi, M., Li, A., Samra, H., & Soh, B. (2025). Examining the Influence of AI on Python Programming Education: An Empirical Study and Analysis of Student Acceptance Through TAM3. *Computers*, 14(10), 411. <https://doi.org/10.3390/computers14100411>
- Alanazi, M., Soh, B., Samra, H., & Li, A. (2025). PyChatAI: Enhancing Python Programming Skills—An Empirical Study of a Smart Learning System. *Computers*, 14(5), 158. <https://doi.org/10.3390/computers14050158>
- Amo-Filva, D. (2023). Editorial Consolidar aulas inteligentes para configurar espacios de aprendizaje Editorial Consolidating smart classrooms for shaping learning spaces. (2), 3767. <https://doi.org/10.17345/ute.2023.3767>
- Aromataris, E., Lockwood, C., Porritt, K., Pilla, B., & Jordan, Z. (Eds.). (2024). *JB1 Manual for Evidence Synthesis*. JBI.



<https://doi.org/10.46658/JBIMES-24-01>

- Atta, A., Esmat, M., Amasha, N., Elayat, E., & ElSaid, W. K. (2025). A Smart ChatGPT Mobile Application for Improving C# Programming Skills for Students in Educational Institutions. *Qubahan Academic Journal*, 5(2), 49–62. <https://doi.org/10.48161/qaj.v5n2a1772>
- Biblioteca Universidad de Navarra. (2024). Revisiones sistemáticas: Ejemplos de criterios de inclusión y de exclusión. https://biblioguias.unav.edu/revisionessistematicas/criterios_de_inclusion_y_exclusion
- Bolaño-García, M., & Duarte-Acosta, N. (2023). Una revisión sistemática del uso de la inteligencia artificial en la educación. *Revista Colombiana de Cirugía*. <https://doi.org/10.30944/20117582.2365>
- Cao, C. (2023). Scaffolding CS1 Courses with a Large Language Model-Powered Intelligent Tutoring System. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, 229–232. <https://doi.org/10.1145/3581754.3584111>
- Chrysafiadi, K., & Virvou, M. (2024). PerFuSIT: Personalized Fuzzy Logic Strategies for Intelligent Tutoring of Programming. *Electronics*, 13(23), 4827. <https://doi.org/10.3390/electronics13234827>
- Chrysafiadi, K., Virvou, M., Tsihrantzis, G. A., & Hatzilygeroudis, I. (2023). Evaluating the user's experience, adaptivity and learning outcomes of a fuzzy-based intelligent tutoring system for computer programming for academic students in Greece. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6453–6483. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11444-3>
- Fan, Z., Noller, Y., Dandekar, A., & Roychoudhury, A. (2024). Software Engineering Educational Experience in Building an Intelligent Tutoring System. <http://arxiv.org/abs/2310.05472>
- Finnie-Ansley, J., Denny, P., Becker, B. A., Luxton-Reilly, A., & Prather, J. (2022). The Robots Are Coming: Exploring the Implications of OpenAI Codex on Introductory Programming. *Proceedings of the 24th Australasian Computing Education Conference*, 10–19. <https://doi.org/10.1145/3511861.3511863>
- Franklin, D., Denny, P., Gonzalez-Maldonado, D. A., & Tran, M. (2025). *Generative AI in Computer Science Education*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009581738>
- Garzón, J., Patiño, E., & Marulanda, C. (2025). Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(8), 84. <https://doi.org/10.3390/mti9080084>
- Gianni, A. M., Nikolakis, N., & Antoniadis, N. (2025). An LLM based learning framework for adaptive feedback mechanisms in gamified XR. *Computers & Education: X Reality*, 7, 100116. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100116>
- Hariyanto, Kristianingsih, F. X. D., & Maharani, R. (2025). Artificial intelligence in adaptive education: a systematic review of techniques for personalized learning. *Discover Education*, 4(1), 458. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6>
- Hartley, K., Hayak, M., & Ko, U. H. (2024). Artificial Intelligence Supporting Independent Student Learning: An Evaluative Case Study of ChatGPT and Learning to Code. *Education Sciences*, 14(2), 120. <https://doi.org/10.3390/educsci14020120>
- Hongthong, T., Chondamrongkul, N., & Temdee, P. (2025). Personalized Recommendation Framework Using Large Language Model and Chain-of-thought Prompting: A Case Study of a Computer Programming Course. *Journal of Mobile Multimedia*. <https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.2165>
- Huang, S., Sun, Y., & Yu, X. (2025). SP-TeachLLM: An LLM-Driven Framework for Personalized and Adaptive Programming Education. *Information*, 16(12), 1045. <https://doi.org/10.3390/info16121045>
- Kasneji, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneji, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Katona, J., & Gyonyoru, K. I. K. (2025). AI-based Adaptive Programming Education for Socially Disadvantaged Students: Bridging the Digital Divide. *TechTrends*, 69(5), 925–942. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01088-8>
- Kitchenham, B. & C. Stuart. (2007a). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_

Reviews_in_Software_Engineering

- Kitchenham, B. & C. Stuart. (2007b). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_Software_Engineering
- Köhler, J., Hidalgo, L., & Jara, J. L. (2023). Predicting Students' Outcome in an Introductory Programming Course: Leveraging the Student Background. *Applied Sciences*, 13(21), 11994. <https://doi.org/10.3390/app132111994>
- Lai, C.-H., & Lin, C.-Y. (2025a). Analysis of Learning Behaviors and Outcomes for Students with Different Knowledge Levels: A Case Study of Intelligent Tutoring System for Coding and Learning (ITS-CAL). *Applied Sciences*, 15(4), 1922. <https://doi.org/10.3390/app15041922>
- Lai, C.-H., & Lin, C.-Y. (2025b). Analysis of Learning Behaviors and Outcomes for Students with Different Knowledge Levels: A Case Study of Intelligent Tutoring System for Coding and Learning (ITS-CAL). *Applied Sciences*, 15(4), 1922. <https://doi.org/10.3390/app15041922>
- Latif, E., Liu, V., & Zhai, X. (2026). A systematic review of intelligent and robot tutoring systems: evolution, pedagogical design, and AI-driven classification. *Smart Learning Environments*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00427-9>
- Létourneau, A., Deslandes Martineau, M., Charland, P., Karran, J. A., Boasen, J., & Léger, P. M. (2025). A systematic review of AI-driven intelligent tutoring systems (ITS) in K-12 education. *Npj Science of Learning*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00320-7>
- Li, H.-J., Huang, Q.-R., Wen, L.-P., Chen, W., & Xu, Z.-Z. (2025). Generative Artificial Intelligence Supported Programming Learning: Learning Effectiveness and Core Competence. *SAGE Open*, 15(3). <https://doi.org/10.1177/21582440251377986>
- Lin, K.-Y., Li, M.-H., Lo, F., Huang, H.-C., Matsuno, K., & Watanabe, R. (2025). Adaptive learning with human factors and Artificial Intelligence: associations with training effectiveness in programming education. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 110, 103834. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2025.103834>
- Łodzikowski, K., Foltz, P. W., & Behrens, J. T. (2023). Generative AI and Its Educational Implications. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.08659>
- López-Vasco, F. E., Angulo-Álvarez, M. R. y Sosa-Zúñiga, D. I. (2025). Formación docente en IA Generativa: impacto ético y retos en educación superior. *Alteridad*, 20(2), 166-177. <https://doi.org/10.17163/alt.v20n2.2025.01p-ISSN:1390-325X / e-ISSN:1390-8642http://alteridad.ups.edu.ec>
- Marougkas, A., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2025). An adaptive virtual reality game for programming education using fuzzy cognitive maps and pedagogical models. *Smart Learning Environments*, 12(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00392-3>
- Martínez Lobo, A. del P., & Martínez Romero, B. (2022). Bases de datos académicas-científicas, su uso para el desarrollo de la investigación y producción de las IES en el sector aeronáutico en Colombia. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(2). <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.736>
- Miguez Gordillo, M. Á. (2025). La inteligencia artificial como recurso didáctico en el proceso de enseñanza y aprendizaje. *Revista Multidisciplinar Epistemología de Las Ciencias*, 2(2), 181-196. <https://doi.org/10.71112/vqb1zx28>
- Mittelhessen, T. H., Reid, S. A., Kammer, F., Kunz, J., Pellekorne, T., Siepermann, M., & Wölfer, J. (2023). ItsSQL: Intelligent Tutoring System for SQL ItsSQL: Intelligent Tutoring System for SQL Working Paper. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.10730>
- Mustafa, M. Y., Tlili, A., Lampropoulos, G., Huang, R., Jandrić, P., Zhao, J., Salha, S., Xu, L., Panda, S., Kinshuk, López-Pernas, S., & Saqr, M. (2024a). A systematic review of literature reviews on artificial intelligence in education (AIED): a roadmap to a future research agenda. *Smart Learning Environments*, 11(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00350-5>
- Mustafa, M. Y., Tlili, A., Lampropoulos, G., Huang, R., Jandrić, P., Zhao, J., Salha, S., Xu, L., Panda, S., Kinshuk, López-Pernas, S., & Saqr, M. (2024b). A systematic review of literature reviews on artificial intelligence in education (AIED): a roadmap to a future research agenda. *Smart Learning Environments*, 11(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00350-5>
- Nathaniel, J., Oyelere, S. S., Suhonen, J., & Tedre, M. (2025). Investigating the impact of generative AI integration on the sustenance of higher-order thinking skills and understanding of programming logic. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 9, 100460. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100460>
- Ortega-Morla, J., Leis, A., Mallo, A., Morán-Fernández, L., Guerreiro, S., Paz-López, A., Pérez-Sánchez, B., Sánchez-Maróño, N., Rodríguez-Arias, A., Fontenla-Romero, O., & Bellas, F. (2025). ProgTutor: A Robotic-Based Framework to Support Teaching and Learning of Programming Fundamentals. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1-15. <https://doi.org/10.1109/TLT.2025.3598041>
- 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., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Pereira, A. F., & Ferreira Mello, R. (2025). A Systematic Literature Review on Large Language Models Applications in Computer Programming Teaching Evaluation Process. *IEEE Access*, 13, 113449–113460. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3584060>
- Phung, T., Pădurean, V.-A., Cambronero, J., Gulwani, S., Kohn, T., Majumdar, R., Singla, A., & Soares, G. (2023). Generative AI for Programming Education: Benchmarking ChatGPT, GPT-4, and Human Tutors. <http://arxiv.org/abs/2306.17156>
- Sajja, R., Sermet, Y., & Demir, I. (2025). End-to-End Deployment of the Educational AI Hub for Personalized Learning and Engagement: A Case Study on Environmental Science Education. *IEEE Access*, 13, 55169–55186. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3554222>
- Tlili, A. (2024). ¿Puede ayudar la inteligencia artificial (IA) en la educación en ciencias de la computación? Un enfoque metaanalítico. *Revista Española de Pedagogía*, 82(289), 469–490. <https://doi.org/10.22550/2174-0909.4172>
- Topham, L., Atherton, P., Reynolds, T., Hussain, Y., Hussain, A., Kolivand, H., & Khan, W. (2026). Artificial Intelligence in Educational Technology: A Systematic Review of Datasets and Applications. *ACM Computing Surveys*, 58(3), 1–28. <https://doi.org/10.1145/3768312>
- Troussas, C., Krouska, A., Mylonas, P., Sgouropoulou, C., & Voyiatzis, I. (2025). Fuzzy Memory Networks and Contextual Schemas: Enhancing ChatGPT Responses in a Personalized Educational System. *Computers*, 14(3), 89. <https://doi.org/10.3390/computers14030089>
- Villegas-Ch, W., Buenano-Fernandez, D., Navarro, A. M., & Mera-Navarrete, A. (2025). Adaptive intelligent tutoring systems for STEM education: analysis of the learning impact and effectiveness of personalized feedback. *Smart Learning Environments*, 12(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00389-y>
- Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 252, 124167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>
- Wu, Z., & Wan, S. (2025). A Knowledge-Driven Approach to AI-Based Personalized Test Paper Creation in Programming Education. *International Journal of Knowledge Management*, 21(1), 1–21. <https://doi.org/10.4018/IJKM.369825>
- Yang, A. C. M., Lin, J.-Y., Lin, C.-Y., & Ogata, H. (2024). Enhancing python learning with PyTutor: Efficacy of a ChatGPT-Based intelligent tutoring system in programming education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100309. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100309>
- Yang, J., Shi, G., Zhu, W., & Sun, Y. (2025). Intelligent technologies in smart education: a comprehensive review of transformative pillars and their impact on teaching and learning methods. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1239. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-05444-0>
- Ye, X., Zhang, W., Zhou, Y., Li, X., & Zhou, Q. (2025). Improving students' programming performance: an integrated mind mapping and generative AI chatbot learning approach. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 558. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04846-4>
- Zastudil, C., Rogalska, M., Kapp, C., Vaughn, J., & MacNeil, S. (2023). Generative AI in Computing Education: Perspectives of Students and Instructors. <http://arxiv.org/abs/2308.04309>
- Zawacki-Richter, O., Müssens, W., & Marin, V. I. (2022). Quality Assurance of Open Educational Resources. In *Handbook of Open, Distance and Digital Education* (pp. 1–19). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0351-9_43-1
- Zizoune, A., Dakki, M., Zizoune, A., Hajhouj, S. E. El, Salaheddine, K., & Ziti, S. (2025). Smart Education and Intelligent Learning Systems (pp. 29–36). https://doi.org/10.1007/978-3-031-74470-9_4





Algoritmo Híbrido Mendeliano–Bayesiano para la Inferencia Probabilística de Genotipos en Pedigríes

Hybrid Mendelian–Bayesian Algorithm for Probabilistic Inference of Genotypes in Pedigrees

Autores

Alexander Stefano Mora Matamoros¹ 
✉ alexander.mora.0121@espam.edu.ec

Javier Hernán López-Zambrano^{*1} 
✉ jlopez@espam.edu.ec

Carlos Octavio Larrea-Izurieta¹ 
✉ clarrea@espam.edu.ec

Diego Alexander Toala Palma² 
✉ diego.toala@technology-park.com

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí, Ecuador.

²Technopark S.A, Manta, Manabí, Ecuador

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Mora Matamoros, A., López-Zambrano, J.H., Larrea-Izurieta, C.O. & Toala Palma, D.A. (2026). Algoritmo Híbrido Mendeliano–Bayesiano para la Inferencia Probabilística de Genotipos en Pedigríes. *Informática y Sistemas*, 10(1), pp. 69–78. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.8393>

Enviado: 23/04/2026

Aceptado: 08/06/2026

Publicado: 11/06/2026

Resumen

Este estudio presenta un algoritmo híbrido, basado en reglas mendelianas y en actualización bayesiana, para inferir distribuciones de probabilidad sobre genotipos a partir de fenotipos observables (capa) y pedigríes, cuando no hay datos genéticos directos. El método representa a cada individuo mediante una distribución genotípica (los casos determinados son distribuciones degeneradas) y define un operador de “cruce” que combina distribuciones parentales para producir la distribución esperada en la descendencia. La inferencia incorpora filtros fenotípicos que eliminan genotipos incompatibles y realiza actualizaciones ascendentes y descendentes: la evidencia de hijos ajusta las creencias sobre progenitores y viceversa. Validado sobre poblaciones simuladas (núcleos familiares y pedigríes más profundos) para un locus bialélico, el algoritmo reproduce las proporciones mendelianas en casos de certeza, propaga coherentemente la incertidumbre cuando los progenitores son parciales y converge rápidamente con observaciones repetidas. Las limitaciones actuales (un locus, sin mutación/recombinación ni error de observación) acotan su aplicabilidad inmediata, pero su claridad, interpretabilidad y facilidad de implementación lo hacen útil como herramienta explicable para programas de cría, conservación y enseñanza, y como base para futuras extensiones multilocus y modelos de observación ruidosos.

Palabras clave: Inferencia genotípica; Inferencia bayesiana; Genética mendeliana; Color de capa equina

Abstract

This study presents a hybrid algorithm—grounded in Mendelian inheritance and Bayesian updating—to infer genotype probability distributions from observable phenotypes (coat color) and pedigree structures when direct genetic data are unavailable. Each individual is represented by a genotype distribution (with fully known genotypes modeled as degenerate distributions), and a distribution-based “cross” operator combines parental distributions to obtain the expected genotype distribution in the offspring. Phenotypic constraints are incorporated by filtering out incompatible genotypes and renormalizing, while both downward and upward inference are supported: offspring evidence updates parental beliefs and vice versa. Validated on simulated populations (small nuclear families and deeper pedigrees) for a single biallelic locus, the algorithm reproduces classical Mendelian proportions under parental certainty, coherently propagates uncertainty when parents are partially specified, and converges steadily under repeated observations. Although current assumptions (single locus, no mutation or recombination, perfect phenotype observation) limit immediate applicability to complex real data, the method’s clarity, interpretability, and ease of implementation make it a practical and explainable tool for breeding programs, conservation planning, and education. It also provides a transparent foundation for future multilocus extensions and models incorporating observation noise.

Keywords: Genotype inference; Bayesian inference; Mendelian genetics; Equine coat color



1. Introducción

La inferencia del genotipo de individuos a partir de observaciones fenotípicas y estructuras genealógicas es un problema central en genética de poblaciones cuando los datos genéticos directos no están disponibles. En muchas poblaciones animales de interés, como los caballos peruanos de paso, solo se registran fenotipos observables (por ejemplo, el color de la capa) y las relaciones genealógicas entre individuos, mientras que la información sobre los genotipos permanece ausente. Esta situación dificulta la comprensión de la herencia genética y limita la capacidad para realizar análisis posteriores de selección, cría o conservación.

El color de la capa en equinos se encuentra bajo control genético claro y ha sido utilizado como modelo de fenotipo mendeliano en múltiples estudios. Diversos loci, especialmente los genes MC1R (factor de extensión) y ASIP (agouti), interactúan para producir las capas básicas de los caballos (alazán, negro y castaño) y han sido descritos exhaustivamente en estudios de genética equina (Sponenberg & Bellone, 2017; Liu et al., 2024). Estos rasgos fenotípicos, aunque fácilmente observables, son el resultado de múltiples posibles combinaciones genotípicas, lo que genera ambigüedad en la inferencia directa del genotipo.

La mecánica de la herencia mendeliana establece que los alelos se transmiten de padres a descendientes de acuerdo con probabilidades bien definidas. No obstante, fenómenos como heterocigosidad oculta, epistasis y efectos de dilución pueden aumentar la complejidad de la interpretación (Zhang et al., 2011). Simultáneamente, la inferencia bayesiana ha demostrado ser una herramienta robusta para estimar parámetros genéticos y genotipos en contextos con datos incompletos o inciertos, ya que permite integrar de forma principada información previa con evidencia observada (Almudevar & LaCombe, 2012; Ormond et al., 2024).

La hipótesis central es que, aun con datos fenotípicos incompletos, es posible estimar distribuciones de probabilidad de genotipos utilizando un algoritmo que combine las leyes de herencia descritas por Mendel con principios de inferencia bayesiana. El objetivo específico es presentar un algoritmo de inferencia híbrido, Mendeliano y bayesiano, y demostrar su desempeño mediante simulaciones en poblaciones virtuales, lo que permite establecer su viabilidad metodológica sin requerir datos genéticos directos (Almudevar & LaCombe, 2012; Ormond et al., 2024).

Avances metodológicos recientes en imputación y en técnicas que combinan información de parentesco (IBD) con información de paneles poblacionales muestran que el uso conjunto de señales de pedigrí y de correlaciones de ligamiento (LD) mejora

sustancialmente la precisión de inferencia para variantes raras y, en general, la recuperación de genotipos cuando solo hay datos parciales (estudios de comparación y guías prácticas sobre imputación en pedigrí). Estas evaluaciones proporcionan criterios de selección de métodos y estrategias de muestreo útiles para diseñar un esquema de referencia/secuenciación en poblaciones con pedigrí extenso (comparativas de métodos de imputación para pedigrí y revisiones generales sobre imputación genómica). Además, trabajos recientes en equinos demuestran que la imputación estadística aplicada con paneles modernos puede reconstruir genotipos históricos y aportar información útil sobre rasgos de apariencia y comportamiento en caballos, lo que valida la factibilidad de enfoques que parten de fenotipos observables y estructuras genealógicas en especies equinas (Todd et al., 2023; Treccani et al., 2023; Ullah et al., 2019).

Desde la perspectiva bayesiana, estudios contemporáneos abordan cuestiones prácticas críticas para la inferencia con datos sesgados por procesos de selección (por ejemplo, programas de cría): elección de priors, modelado de la selección y el manejo de datos faltantes/observaciones censuradas. Estas contribuciones son importantes para asegurar que los posteriors de genotipo y parámetros derivados no estén indebidamente sesgados por esquemas de selección no aleatoria en los registros fenotípicos (Gianola et al., 2022). Asimismo, enfoques integradores de sistema (systems genetics / veterinary systems biology) subrayan la utilidad de combinar información fenómica, pedigrí y múltiples capas ómicas o computacionales cuando estén disponibles, permitiendo que modelos híbridos (bayesianos + reglas mendelianas + señales de pedigrí) mejoren la resolución de la inferencia fenotipo→genotipo y su aplicabilidad en toma de decisiones veterinarias y de cría (Pathak & Kim, 2024).

En conjunto, estos hallazgos recientes apoyan la propuesta de este trabajo: un algoritmo híbrido que explote reglas mendelianas locales, la estructura del pedigrí y una formulación bayesiana flexiblemente jerárquica puede producir distribuciones de probabilidad de genotipos informativas aun cuando la información molecular directa sea inexistente. El presente artículo adopta estos desarrollos prácticos y teóricos para diseñar y evaluar un flujo de inferencia aplicable a caballos peruanos de paso, con especial atención a la precisión en variantes de efecto visible (p. ej. loci de color de capa) y a la robustez frente a sesgos por selección y pedigrí incompleto (Gianola et al., 2022; Pathak & Kim, 2024; Todd et al., 2023; Treccani et al., 2023; Ullah et al., 2019).

Este enfoque es relevante para estudios de genética equina, particularmente en la coloración de las capas, donde las estructuras familiares largas y los efectos genéticos complejos

requieren modelos capaces de integrar múltiples fuentes de incertidumbre. El desarrollo de métodos confiables de inferencia de genotipos tiene aplicaciones potenciales en programas de cría, conservación de razas y estudios epidemiológicos, donde el conocimiento del genotipo es crucial para decisiones fundadas en evidencia genética (Sponenberg & Bellone, 2017).

2. Materiales y Métodos

2.1 Contexto y diseño del estudio

Este trabajo corresponde a un estudio metodológico y computacional orientado al diseño y validación de un algoritmo para la inferencia probabilística de genotipos en pedigrís equinos. El desarrollo del algoritmo se realizó de forma independiente mediante implementación computacional propia durante el período 2025–2026, utilizando un equipo personal.

La validación presentada en este artículo se basa exclusivamente en poblaciones simuladas, diseñadas para reproducir estructuras familiares simples y pedigrís de mayor profundidad. Aunque el algoritmo fue concebido a partir del análisis de un pedigrí real.

2.2 Población y datos utilizados

Las poblaciones simuladas representan pedigrís en los que únicamente se dispone de dos tipos de información:

- (i) el fenotipo observable (capa del caballo) y
- (ii) las relaciones genealógicas entre individuos.

Los genotipos no se consideran observables y constituyen la variable objetivo del proceso de inferencia. En las simulaciones, los genotipos verdaderos se generan de manera controlada con el fin de contar con una referencia interna para evaluar el comportamiento del algoritmo.

Para facilitar la comprensión del método, se incluyen ejemplos con núcleos familiares pequeños (entre 3 y 10 individuos), así como estructuras genealógicas más extensas que permiten ilustrar la propagación de información a lo largo del pedigrí. En este artículo se trabaja únicamente con un locus bialélico, lo que permite exponer el funcionamiento del algoritmo sin pérdida de generalidad conceptual.

Un ejemplo representativo de la estructura utilizada se muestra en la Tabla 1, donde se presenta un núcleo familiar simple compuesto por dos progenitores con fenotipos distintos y tres descendientes. Esta configuración ilustra el tipo de información disponible para el algoritmo: únicamente fenotipos observables y relaciones de parentesco, a partir de los cuales se debe inferir la distribución genotípica de cada individuo.

2.3 Supuestos genéticos del modelo

El algoritmo se construye bajo un conjunto de supuestos explícitos:

- herencia mendeliana clásica,

Tabla 1. Estructura básica del núcleo familiar simulado.
Fuente: Los autores

Padre (Fenotipo A)	Madre (Fenotipo B)
Hijo 1	(Fenotipo A)
Hijo 2	(Fenotipo A)
Hijo 3	(Fenotipo B)

- ausencia de mutación y recombinación,
- observación perfecta del fenotipo,
- relación determinística entre fenotipo y conjunto de genotipos compatibles.

Estos supuestos no buscan reflejar toda la complejidad genética real, sino aislar el problema de inferencia y permitir una evaluación clara del comportamiento del algoritmo. La relajación de estas hipótesis se considera como trabajo futuro.

2.4 Representación probabilística de los individuos

Cada individuo del pedigrí se representa mediante una distribución de probabilidad sobre los genotipos posibles en el locus considerado. Esta distribución expresa el grado de creencia del algoritmo en cada genotipo compatible con la información disponible.

Los genotipos conocidos o fijados se modelan como distribuciones degeneradas, es decir, distribuciones con probabilidad uno en un único genotipo. De este modo, los cruces “simples” no constituyen un caso especial del algoritmo, sino una instancia particular del mismo marco probabilístico.

Cuando no existe información genealógica adicional, las distribuciones iniciales se asignan a partir del fenotipo observado, utilizando priors equilibrados consistentes con las restricciones fenotípicas. Un ejemplo de estas asignaciones se presenta en la Tabla 2, donde se observa cómo cada fenotipo restringe el conjunto de genotipos posibles y determina una distribución inicial sobre ellos. En particular, los genotipos incompatibles reciben probabilidad cero.

Tabla 2. Distribuciones genotípicas iniciales asignadas según restricción fenotípica.
Fuente: Los autores

Fenotipo A		Fenotipo B	
Genotipo	Probabilidad inicial	Genotipo	Probabilidad inicial
AA	0.5	AA	0
Aa	0.5	Aa	0
aa	0	aa	1

2.5 Cruce entre distribuciones genotípicas

El núcleo del algoritmo consiste en un operador de cruce que



combina las distribuciones genotípicas de dos progenitores para producir una distribución genotípica esperada en la descendencia.

Este operador no cruza genotipos individuales, sino distribuciones completas, ponderando todos los cruces mendelianos posibles según la probabilidad asignada a cada genotipo parental. En consecuencia, los cruces tradicionales entre genotipos conocidos se interpretan como casos límite de cruces entre distribuciones con certeza total.

La base de este operador se muestra en la Tabla 3, que presenta la matriz mendeliana de combinación alélica para un locus bialélico. Esta matriz define las posibles combinaciones de alelos parentales y los genotipos resultantes en la descendencia, constituyendo el componente fundamental sobre el cual se construye el cruce entre distribuciones probabilísticas.

Tabla 3. Matriz mendeliana de combinación alélica.

Fuente: Los autores

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

2.6 Incorporación de evidencia fenotípica

Cuando el fenotipo del descendiente es observable, la distribución genotípica inferida se restringe eliminando los genotipos incompatibles con dicho fenotipo. Este proceso equivale a condicionar la distribución por evidencia observada y normalizarla posteriormente.

Este mecanismo permite integrar información fenotípica de forma coherente dentro de un esquema de inferencia bayesiana, manteniendo la consistencia probabilística del modelo.

2.7 Inferencia ascendente y actualización parental

Además de inferir descendientes a partir de progenitores, el algoritmo permite realizar inferencia ascendente, ajustando la distribución genotípica de un progenitor incierto a partir de la información proporcionada por uno o más descendientes y del otro progenitor.

Este ajuste se realiza evaluando qué genotipos parentales explican mejor la evidencia observada en la descendencia, y actualizando la distribución original en consecuencia. Conceptualmente, este procedimiento corresponde a una aplicación directa de la regla de Bayes.

2.8 Actualización secuencial y propagación de información

A medida que se incorpora nueva información genealógica

o fenotípica, las distribuciones genotípicas se actualizan de manera secuencial. El resultado de cada actualización se utiliza como punto de partida para las siguientes, lo que permite que la información se propague progresivamente a lo largo del pedigrí.

En las simulaciones realizadas, este proceso conduce a una concentración gradual de probabilidad en los genotipos compatibles con toda la evidencia disponible.

2.9 Implementación computacional

El algoritmo fue implementado mediante una solución computacional propia. Para garantizar la reproducibilidad, se documentaron los procedimientos de generación de pedigríes simulados, los criterios de asignación de priors y las reglas de actualización empleadas.

2.10 Consideraciones éticas

El presente estudio se basa exclusivamente en simulaciones computacionales. No se utilizaron datos sensibles ni se realizaron intervenciones sobre animales, por lo que no fue necesario solicitar consentimiento ético.

3. Resultados y Discusión

La aplicación práctica del algoritmo sobre las poblaciones simuladas mostró que el método (1) respeta las expectativas mendelianas en los casos de certeza parental, (2) propaga de forma coherente la incertidumbre cuando los progenitores son parciales, y (3) ajusta las creencias parentales ante evidencia descendente, con comportamiento estable ante observaciones repetidas. A continuación, se presentan resultados representativos (ejemplos numéricos) y su interpretación.

Con el fin de realizar experimentaciones sobre el algoritmo propuesto se realizaron simulaciones computacionales sobre poblaciones virtuales generadas bajo un modelo mendeliano bialélico (A/a). El diseño experimental incluyó 5.000 repeticiones independientes, en las que se generaron núcleos familiares y pedigríes de distinta complejidad, con tamaños comprendidos entre 3 y 10 individuos por familia. En cada simulación se asignaron genotipos verdaderos a los progenitores, se generó la descendencia mediante herencia mendeliana y posteriormente se ocultó la información genética, conservando únicamente los fenotipos observables y las relaciones de parentesco. Este procedimiento permitió evaluar la capacidad del algoritmo para reconstruir distribuciones genotípicas utilizando información parcial. Los ejemplos a continuación tienen un carácter ilustrativo y fueron seleccionados por su valor didáctico para mostrar el funcionamiento interno del método; sin embargo,

las conclusiones numéricas se fundamentan en la sección 3.7 Evaluación Experimental.

En todo el procedimiento un “cruce” no es la combinación de dos genotipos puntuales, sino la operación entre distribuciones genotípicas. Los cruces clásicos (por ejemplo, AA × Aa) son simplemente casos degenerados de esas distribuciones (por ejemplo, AA = {AA:1, Aa:0, aa:0}). Esto unifica el tratamiento y evita reglas ad-hoc.

3.1 Validación en cruces mendelianos clásicos

Resultado. En todos los casos en que ambos progenitores tenían genotipo resuelto, el algoritmo reprodujo exactamente las proporciones mendelianas esperadas para un locus bialélico (A/a). Esto valida que el núcleo de herencia del método está correctamente implementado.

Los resultados correspondientes se resumen en la Tabla 4, donde se presentan distintos cruces mendelianos clásicos junto con sus distribuciones genotípicas esperadas en la descendencia. Se observa que el algoritmo reproduce correctamente las proporciones teóricas en cada caso, confirmando la consistencia del operador de cruce en escenarios de certeza total.

Tabla 4. Cruces mendelianos clásicos.
Fuente: Los autores

Cruce	Distribución esperada		
	AA	Aa	aa
AA × AA	1	0	0
AA × Aa	0,5	0,5	0
Aa × Aa	0,25	0,5	0,25
AA × aa	0	1	0
Aa × aa	0	0,5	0,5
aa × aa	0	0	1

3.2 Cruces con progenitores genotípicamente inciertos

Resultado. Cuando al menos un progenitor se modela como una distribución (por ejemplo {AA:0.5, Aa:0.5, aa:0}), la distribución esperada del hijo se obtiene como una mezcla ponderada de todos los cruces mendelianos posibles, ponderada por la probabilidad de cada genotipo parental.

Ejemplo (demostrativo):

- Entrada: Padre = {AA:0.5; Aa:0.5; aa:0}; Madre = Aa (completa).
- Proceso operativo: descomposición del padre en casos, cálculo de la descendencia para cada caso, ponderación por la probabilidad de cada caso y suma de las contribuciones.
- Salida (inferida): {AA:0.375; Aa:0.50; aa:0.125}.

El detalle del cálculo se presenta en la Tabla 5, donde se descompone la distribución del progenitor incierto en casos

posibles y se muestran las contribuciones ponderadas de cada uno. Se observa que la distribución final del descendiente resulta de la suma de estas contribuciones, reflejando de manera explícita la incertidumbre en el genotipo parental.

Tabla 5. Cruce con progenitor incierto.
Fuente: Los autores

Caso	Sub-distribución	Ponderación	Contribución
Padre = AA (p=0.5)	AA × Aa → {AA:0.5; Aa:0.5}	0.5	{AA:0.25; Aa:0.25}
Padre = Aa (p=0.5)	Aa × Aa → {AA:0.25; Aa:0.5; aa:0.25}	0.5	{AA:0.125; Aa:0.25; aa:0.125}
Suma final	—	—	{AA:0.375; Aa:0.50; aa:0.125}

Interpretación. La mezcla ponderada preserva la varianza parental y permite expresar explícitamente la incertidumbre en la descendencia sin fijar genotipos arbitrariamente.

3.3 Incorporación de restricciones fenotípicas

Resultado. Al observar el fenotipo del hijo (que puede descartar algunos genotipos), el algoritmo aplica una máscara sobre la distribución resultante del cruce y la normaliza; el efecto es desplazar la probabilidad hacia genotipos compatibles con la evidencia observada.

Ejemplo: Aa × Aa → (0.25,0.5,0.25). Si el fenotipo observado excluye aa, la máscara aplicada (por ejemplo {0.5,0.5,0}) produce, tras normalizar, la distribución {0.333, 0.667, 0.0}.

El procedimiento se detalla en la Tabla 6, donde se muestra cómo la distribución mendeliana original se combina con la máscara fenotípica mediante un producto elemento a elemento y posterior normalización. Este proceso permite eliminar genotipos incompatibles y redistribuir la probabilidad entre las opciones restantes de manera coherente.

Tabla 6. Filtrado fenotípico aplicado a Aa × Aa.
Fuente: Los autores

Genotipo hijo	Prob. mendeliana	Máscara fenotípica	Producto	Normalizado
AA	0.25	0.5	0.125	0.333
Aa	0.50	0.5	0.25	0.667
aa	0.25	0.0	0.0	0.0

Interpretación. Este paso es la implementación práctica del condicionamiento por evidencia: elimina opciones imposibles y reequilibra la incertidumbre restante.



3.4 Inferencia ascendente: ajuste del genotipo parental a partir del descendiente

Resultado. El algoritmo ajusta la distribución de un progenitor incierto usando la evidencia aportada por un descendiente observado.

Procedimiento:

1. Para cada hipótesis genotípica posible del progenitor objetivo, se evalúa qué tan compatible es esa hipótesis con el genotipo observado del hijo.

o Si el otro progenitor está resuelto, la compatibilidad se obtiene directamente del cruce mendeliano.

o Si el otro progenitor también es incierto, la compatibilidad se obtiene promediando (ponderando) los resultados de ese cruce según la distribución del otro progenitor.

2. Cada hipótesis recibe un peso no normalizado igual a: (prior de la hipótesis) × (grado de compatibilidad con el hijo).

3. Se normalizan los pesos para obtener la distribución posterior del progenitor objetivo.

Las hipótesis que no pueden producir el genotipo observado quedan con peso cero; las que lo pueden producen pesos proporcionales a su capacidad explicativa.

Ejemplo (ilustrativo):

- Progenitor 1: aa (resuelto)
- Progenitor 2 (prior): {AA: 0.25; Aa: 0.50; aa: 0.25}
- Descendiente observado: aa

El cálculo detallado se presenta en la Tabla 7, donde se evalúa la compatibilidad de cada hipótesis parental con la evidencia observada y se muestran los pesos resultantes antes y después de la normalización. Se observa que las hipótesis incompatibles son eliminadas, mientras que las restantes se ajustan proporcionalmente a su capacidad para explicar el genotipo del descendiente.

Tabla 7. Evaluación de compatibilidad y ajuste.
Fuente: Los autores

Hipótesis P2	Prior	Compatibilidad con hijo aa (vía cruce con P1)	Peso no normalizado (Prior × Compat.)	Posterior
AA	0.25	0.0 (aa×AA → sólo produce Aa)	0.00	0.00
Aa	0.50	0.5 (aa×Aa → produce aa en 50% de los casos)	0.25	0.50
aa	0.25	1.0 (aa×aa → produce aa siempre)	0.25	0.50
Suma	—	—	0.50	1

Interpretación. Tras incorporar la evidencia del hijo, la hipótesis AA se descarta; Aa y aa quedan con igual probabilidad posterior (0.5 cada una). Si el otro progenitor fuese incierto, la “compatibilidad” de cada hipótesis se calcularía como la mezcla ponderada sobre las posibilidades del otro progenitor y el proceso de normalización sería idéntico.

3.5 Ajustes repetidos: cómo varias observaciones fortalecen la inferencia

Resultado. El algoritmo refina la distribución del progenitor incierto cada vez que se incorpora la observación de un nuevo hijo. Dependiendo a las observaciones del genotipo de la descendencia, la probabilidad asociada a ese genotipo crece de forma acumulativa y estable, mientras que las hipótesis incompatibles se eliminan rápidamente.

Procedimiento operativo. Para cada hijo observado:

1. Calcular, para cada hipótesis genotípica del progenitor incierto, su grado de compatibilidad con el hijo dado el otro progenitor (resuelto o distribuido).

2. Multiplicar la probabilidad previa de cada hipótesis por su compatibilidad (peso no normalizado).

3. Normalizar los pesos para obtener la distribución posterior; usarla como prior para la siguiente observación.

Ejemplo (caso didáctico):

- P1 (resuelto): aa
- P2 (prior): {AA:0.25, Aa:0.50, aa:0.25}
- Observaciones sucesivas: hijo1 = aa, hijo2 = aa, hijo3 = aa, hijo4 = aa

La evolución de la distribución se muestra en la Tabla 8, donde se observa cómo, tras cada iteración, la probabilidad se concentra progresivamente en los genotipos más compatibles con la evidencia acumulada. En particular, la hipótesis AA se descarta desde la primera observación, mientras que la probabilidad de aa aumenta de manera sostenida con cada nuevo dato.

Tabla 7. Evaluación de compatibilidad y ajuste.

Fuente: Los autores

Iteración	Prior (AA, Aa, aa)	Compatibilidad (AA, Aa, aa)	Pesos no normalizados	Posterior (AA, Aa, aa)
1 (hijo1)	(0.25, 0.50, 0.25)	(0.0, 0.5, 1.0)	(0.00, 0.25, 0.25)	(0.00, 0.50, 0.50)
2 (hijo2)	(0.00, 0.50, 0.50)	(0.0, 0.5, 1.0)	(0.00, 0.25, 0.50)	(0.00, 0.333, 0.667)
3 (hijo3)	(0.00, 0.333, 0.667)	(0.0, 0.5, 1.0)	(0.00, 0.1667, 0.6667)	(0.00, 0.200, 0.800)
4 (hijo4)	(0.00, 0.200, 0.800)	(0.0, 0.5, 1.0)	(0.00, 0.10, 0.80)	(0.00, 0.111, 0.889)

Interpretación. Tras la primera observación aa, la hipótesis AA queda eliminada y Aa / aa se igualan. Con cada hijo aa observado, la probabilidad de aa crece rápidamente (≈ 0.889 tras 4 hijos), mostrando concentración de la distribución hacia la hipótesis que mejor explica la evidencia acumulada. Si las observaciones fueran mixtas, la dinámica sería análoga pero menos concentrada.

3.6 Comparación con enfoques existentes y limitaciones

Comparación conceptual: Nuestro enfoque coincide con la filosofía bayesiana clásica de actualización de creencias en función de la evidencia, aplicándola a pedigrís familiares. Por ejemplo, herramientas recientes de inferencia en pedigrí como BICEP permiten calcular probabilidades posteriores de causalidad genética considerando la segregación de variantes dentro de familias (Ormond et al., 2024). De modo análogo, nuestros cruces probabilísticos ponderan exhaustivamente las posibilidades mendelianas según la evidencia genética disponible. Además, los modelos contemporáneos en genética cuantitativa enfatizan la integración de información fenotípica y genealógica como base para la inferencia en contextos de selección (Gianola et al., 2022), lo que concuerda con nuestra estrategia de propagación de evidencia en redes familiares. En una línea más amplia, los enfoques de biología de sistemas aplicados a la producción animal destacan el valor de combinar datos genotípicos y fenotípicos mediante modelos computacionales para mejorar la toma de decisiones (Pathak & Kim, 2024), reforzando el puente que establecemos entre fenotipo observado y genotipo inferido. En el caso específico de caracteres mendelianos, estudios recientes sobre genética equina muestran cómo genes clave determinan directamente rasgos visibles como el color de capa, proporcionando una base biológica clara para modelos simplificados como el propuesto (Liu et al., 2024). La principal ventaja de nuestro método radica en su formulación modular: el núcleo se reduce a una operación única de “cruce + condicionamiento” sobre distribuciones de probabilidad, en contraste con enfoques más complejos basados en múltiples reglas o procedimientos diferenciados.

Limitaciones principales: El modelo actual se restringe a un locus bialélico y asume ausencia de mutación, recombinación y errores de observación; simplificaciones que limitan su aplicabilidad directa a datos reales más complejos. En pedigrís con bucles

o endogamia, el número de combinaciones genotípicas crece rápidamente, incrementando el costo computacional. La extensión a escenarios multilocus implicaría un aumento significativo en la complejidad del espacio de estados. En este contexto, enfoques como la imputación genómica han demostrado ser eficaces para reconstruir genotipos faltantes mediante el uso de paneles de referencia y correlaciones poblacionales (Treccani et al., 2023), lo que sugiere posibles vías de extensión. Asimismo, los modelos bayesianos avanzados suelen incorporar técnicas de muestreo y verosimilitudes probabilísticas para manejar ruido y ambigüedad en los datos (Gianola et al., 2022), aspecto que no está considerado en la formulación actual. En consecuencia, el método se mantiene como una solución conceptual sólida para rasgos mendelianos simples, pero requiere extensiones para abordar escenarios genéticos más complejos.

Líneas futuras: Entre las principales líneas de desarrollo se encuentra la generalización a múltiples loci, donde técnicas modernas de imputación y modelado haplotípico serán especialmente relevantes (Treccani et al., 2023). También resulta prioritario incorporar modelos de observación no deterministas que permitan manejar errores fenotípicos y efectos ambientales. Asimismo, será necesario realizar evaluaciones comparativas con herramientas existentes mediante benchmarking en datos simulados y reales. Estudios recientes en genética equina han demostrado el valor de la imputación para reconstruir información genética histórica y relacionarla con rasgos fenotípicos (Todd et al., 2023), lo que evidencia el potencial de integrar múltiples fuentes de información en la inferencia.

3.7 Evaluación experimental

Para medir la capacidad del método para inferir correctamente distribuciones genotípicas a partir de información fenotípica y genealógica incompleta, así como analizar su comportamiento de convergencia bajo evidencia acumulativa. Se generaron 5.000 repeticiones independientes de un escenario genético basado en un locus bialélico (A/a). En cada repetición se simuló aleatoriamente los genotipos verdaderos de dos progenitores siguiendo una distribución inicial de frecuencias (AA = 0.25, Aa = 0.50, aa = 0.25).



El algoritmo recibió únicamente la información fenotípica derivada del descendiente y distribuciones iniciales uniformes para los progenitores, debiendo inferir la distribución de probabilidad asociada al genotipo del descendiente. Este procedimiento permitió comparar sistemáticamente las inferencias obtenidas con los genotipos verdaderos utilizados en la simulación.

Las métricas que se midieron en el ejercicio fueron: exactitud (Accuracy), proporción de casos en los que el genotipo con mayor probabilidad posterior coincidió con el genotipo verdadero; error Absoluto Medio (MAE), diferencia promedio entre la distribución inferida y la representación exacta del genotipo verdadero; entropía, medida de incertidumbre asociada a la distribución posterior inferida; las mismas que se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Métricas del desempeño del algoritmo.
Fuente: Los autores

Métrica	Valor
1 Exactitud	0.7576
2 Valor Absoluto Medio	0.2189
3 Entropía promedio	0.6891

Interpretación. La exactitud global alcanzó un valor de 75.76 %, indicando que en aproximadamente tres de cada cuatro simulaciones el genotipo con mayor probabilidad posterior coincidió con el genotipo verdadero. El error absoluto medio de 0.2189 muestra que las distribuciones inferidas permanecieron razonablemente próximas a los genotipos reales, mientras que la entropía promedio de 0.6821 refleja una reducción significativa de la incertidumbre respecto a una distribución completamente uniforme.

La Tabla 10 evidencia que el genotipo recesivo aa fue identificado correctamente en la totalidad de los casos simulados, alcanzando precisión y sensibilidad iguales a 1.0. Por el contrario, el genotipo AA no pudo distinguirse de manera confiable utilizando únicamente información fenotípica, debido a que comparte el mismo fenotipo observable que el genotipo heterocigoto Aa bajo el modelo dominante-recesivo considerado. Esta limitación corresponde a la información disponible y no a la formulación matemática del algoritmo.

Tabla 10. Probabilidades inferidas por el algoritmo.
Fuente: Los autores

Hijo real	Prob. AA	Prob. Aa	Prob. aa	Error Absoluto Medio	Entropía
AA	0.33	0.66	0.00	0.44	0.9183
Aa	0.33	0.66	0.00	0.22	0.9182
aa	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00

Interpretación. La incertidumbre del algoritmo se concentra en la distinción entre AA y Aa, mientras que el genotipo aa es identificado sin ambigüedad.

Se estableció un máximo de 100 iteraciones y un criterio de convergencia basado en una variación máxima inferior a 10^{-4} entre distribuciones posteriores consecutivas.

El algoritmo alcanzó la convergencia en la iteración 15. Simultáneamente, la entropía disminuyó desde valores cercanos de incertidumbre inicial hasta 0.000942.

Estos resultados confirman que el procedimiento de actualización bayesiana presenta estabilidad numérica y una rápida capacidad de convergencia casi lineal, permitiendo incorporar nueva evidencia sin introducir inconsistencias probabilísticas ni oscilaciones en las distribuciones posteriores, según la Figura 1

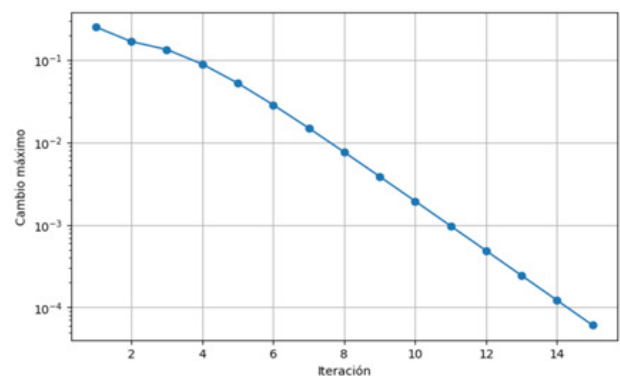


Figura 1. Gráfica de convergencia del algoritmo
Fuente: Los autores

Interpretación. Se observa una reducción monotónica del cambio máximo, pasando de valores cercanos a 2.5×10^{-1} en las primeras iteraciones hasta aproximadamente 6×10^{-4} en la iteración 15. Este comportamiento evidencia que las actualizaciones bayesianas producen distribuciones progresivamente más estables a medida que se incorpora nueva evidencia. La ausencia de oscilaciones o incrementos en la magnitud del cambio confirma la estabilidad

numérica del algoritmo.

Los ejercicios experimentales realizados muestran que el algoritmo reproduce correctamente las relaciones mendelianas esperadas, propaga coherentemente la incertidumbre cuando la información parental es incompleta y converge rápidamente al incorporar evidencia adicional. La principal limitación observada corresponde a la imposibilidad de diferenciar completamente entre genotipos AA que producen el mismo fenotipo observable, situación inherente a cualquier procedimiento de inferencia basado exclusivamente en información fenotípica. A pesar de esta restricción, los resultados obtenidos respaldan la validez metodológica del enfoque híbrido propuesto y su potencial aplicación en contextos donde los datos genéticos directos no se encuentran disponibles.

4. Conclusiones

Este trabajo demuestra que la inferencia genética que los humanos realizan de manera intuitiva puede formalizarse de forma directa mediante un procedimiento computacional claro, preciso y reproducible. El algoritmo propuesto no introduce supuestos estadísticos adicionales ni modelos probabilísticos opacos, sino que sistematiza reglas de compatibilidad genética y actualización distributiva basadas en las leyes mendelianas. De este modo, la inferencia se construye como un proceso acumulativo y coherente, donde cada nueva observación refina el conocimiento previo sin perder trazabilidad ni interpretabilidad.

La principal relevancia de este enfoque radica en su capacidad para servir como puente entre la comprensión conceptual del problema genético y su implementación algorítmica. Al mantener una correspondencia directa entre la intuición biológica y las operaciones computacionales, el método facilita su adopción en sistemas automatizados, entornos educativos y aplicaciones donde la explicabilidad del razonamiento es un requisito central. Asimismo, este marco abre la puerta a futuras extensiones hacia pedigrís más complejos y escenarios con múltiples loci, manteniendo la misma filosofía de inferencia transparente y progresiva.

Contribución de los autores

Alexander Stefano Mora Matamoros: Redacción – borrador original del artículo, Metodología, Investigación. **Javier Hernán López Zambrano:** Validación, Investigación, Redacción – revisión y edición del artículo. **Carlos Octavio Larrea Izurieta:** Conceptualización, Investigación, Validación. **Diego Alexander Toala Palma:** Conceptualización, Investigación, Validación.

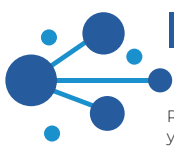
Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Almudevar, A., & LaCombe, J. (2012). On the choice of prior density for the Bayesian analysis of pedigree structure. *Theoretical Population Biology*, 81(2), 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2011.12.003>
- Gianola, D., Fernando, R. L., & Schön, C. C. (2022). Inference about quantitative traits under selection: A Bayesian revisit for the post-genomic era. *Genetics Selection Evolution*, 54(1), 78. <https://doi.org/10.1186/s12711-022-00765-z>
- Liu, X., Peng, Y., Zhang, X., Wang, X., Chen, W., Kou, X., Liang, H., Ren, W., Khan, M. Z., & Wang, C. (2024). Coloration in Equine: Overview of Candidate Genes Associated with Coat Color Phenotypes. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 14(12), 1802. <https://doi.org/10.3390/ani14121802>
- Modak, M., Mustahasin Pritom, M., Chandra Banik, S., & Rabbi, S. (2025). Internet of Things-Based Health Surveillance Systems for Livestock: A Review of Recent Advances and Challenges. *IET Wireless Sensor Systems*, 1(15). <https://doi.org/10.1049/wss2.70013>
- Ormond, C., Ryan, N. M., Cap, M., Byerley, W., Corvin, A., & Heron, E. A. (2024). BICEP: Bayesian inference for rare genomic variant causality evaluation in pedigrees. *Briefings in Bioinformatics*, 26(1), bbae624. <https://doi.org/10.1093/bib/bbae624>
- Pathak, R. K., & Kim, J.-M. (2024). Veterinary systems biology for bridging the phenotype–genotype gap via computational modeling for disease epidemiology and animal welfare. *Briefings in Bioinformatics*, 25(2), bbae025. <https://doi.org/10.1093/bib/bbae025>
- Saha, S., Layek, S., Ray, H., Ghosh, A., Majumdar, S., Ghosh, D., Chakraborty, R., Pramanik, A., Parua, T., & Mukherjee, S. (2024). Recent Trends of IoT Enabled Wearable Sensors: An Extensive Application of Cattle Health Monitoring. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1551, 201–214. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-96-9983-4_15
- Sponenberg, D. P., & Bellone, R. (2017). *Equine color genetics* (4th edition). Wiley Blackwell.
- Todd, E. T., Fromentier, A., Sutcliffe, R., Running Horse Collin, Y., Perdereau, A., Aury, J.-M., Èche, C., Bouchez, O., Donnadiou, C., Wincker, P., Kalbfleisch, T., Petersen, J. L., & Orlando, L. (2023). Imputed genomes of historical horses provide insights into modern breeding. *iScience*, 26(7), 107104. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107104>
- Treccani, M., Locatelli, E., Patuzzo, C., & Malerba, G. (2023). A broad overview of genotype imputation: Standard guidelines, approaches, and future investigations in genomic association studies. *BIOCELL*, 47(6), 1225–





1241. <https://doi.org/10.32604/biocell.2023.027884>

Ullah, E., Mall, R., Abbas, M. M., Kunji, K., Nato, A. Q., Bensmail, H., Wijsman, E. M., & Saad, M. (2019). Comparison and assessment of family- and population-based genotype imputation methods in large pedigrees. *Genome Research*, 29(1), 125–134. <https://doi.org/10.1101/gr.236315.118>

Zhang, Y., Jiang, B., Zhu, J., & Liu, J. S. (2011). Bayesian Models for Detecting Epistatic Interactions from Genetic Data: Bayesian partition for epistasis mapping. *Annals of Human Genetics*, 75(1), 183–193. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.2010.00621.x>



Arquitectura Hexagonal y Microservicios para la Digitalización de Procesos Administrativos en una Institución Pública: Caso de Gestión de Vacaciones y Permisos

Hexagonal Architecture and Microservice for the Digitalization of Administrative Processes in a Public Institution: Case of Vacation and Leave Management

Autores

*Britney Paulette Tenecela Tocto¹

✉ btenece1@utmachala.edu.ec



Kevin Joel Zuñiga Iñiguez¹

✉ kzuniga2@utmachala.edu.ec



Bertha Mazon-Olivo¹

✉ bmazon@utmachala.edu.ec



Damar Alejandra Taylor Vivanco²

✉ dtaylor@bmv.edu.ec



¹Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Carrera de Tecnologías de la Información, Machala, El Oro, Ecuador.

²Instituto Superior Tecnológico Bolívar Madero Vargas, Carrera de Desarrollo de Software, Machala, El Oro, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Comó citar el artículo:

Tenecela Tocto, B.P., Zuñiga Iñiguez, K.J., Mazon-Olivo, B. & Taylor Vivanco, D.A. (2026). Arquitectura Hexagonal y Microservicios para la Digitalización de Procesos Administrativos en una Institución Pública: Caso de Gestión de Vacaciones y Permisos. *Informática y Sistemas*, 10(1), pp. 79-97. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.8441>

Enviado: 18/05/2026

Aceptado: 11/06/2026

Publicado: 11/06/2026

Resumen

Gestionar vacaciones, licencias y permisos con hojas de cálculo genera errores, duplicados y baja trazabilidad. Para atender esta problemática, este trabajo documenta el diseño, desarrollo y evaluación del sistema GIATH, orientado a centralizar y automatizar solicitudes en Talento Humano de una entidad pública ecuatoriana denominada ISE por confidencialidad, cuyo volumen histórico alcanzó 1.997 trámites de 626 funcionarios entre enero de 2024 y septiembre de 2025. La solución integra metodológicamente el modelo As-Is/To-Be, que rediseñó los flujos administrativos, con la metodología Extreme Programming, que orientó el desarrollo iterativo; ambos enfoques se materializaron en una arquitectura de microservicios con patrón hexagonal implementada en Java 21, Spring Boot, Angular, TypeScript, SQL Server 2022 y MongoDB. Tres estrategias de validación respaldan los resultados obtenidos. Las pruebas funcionales confirmaron integridad y consistencia de datos en todos los escenarios. Las pruebas de rendimiento ejecutadas con Apache JMeter en cinco niveles de carga evidenciaron tiempos promedio de 110 ms con 20 usuarios y 472 ms con 70 usuarios concurrentes, sin ningún error (tasa 0,0 %) y con un throughput máximo de 95,3 req/s. Frente al proceso manual, que demandaba cerca de diez minutos por solicitud, el sistema lo reduce a menos de 1,5 segundos: una mejora superior al 99,7 %. La encuesta a 22 expertos en TI, basada en ISO/IEC 25010 con un Alfa de Cronbach de 0,87, arrojó promedios superiores a 4,4 sobre 5 en todas las dimensiones. GIATH constituye un modelo técnico-metodológico transferible para digitalizar y validar trámites administrativos análogos en el sector público.

Palabras claves: Arquitectura hexagonal; Microservicios; As-Is/To-Be; Extreme Programming; Talento Humano.

Abstract

Gestionar vacaciones, licencias y permisos con hojas de cálculo genera errores, duplicados y escasa trazabilidad. Managing vacations, licenses, and permits with spreadsheets generates errors, duplicates, and low traceability. To address this issue, this work documents the design, development, and evaluation of the GIATH system, aimed at centralizing and automating requests in Human Talent of a public entity in Ecuador called ISE for confidentiality, whose historical volume reached 1,997 transactions from 626 officials between January 2024 and September 2025. The solution methodologically integrates the As-Is/To-Be model, which redesigned the administrative flows, with the Extreme Programming methodology, which guided the iterative development; both approaches were materialized in a microservices architecture with a hexagonal pattern implemented in Java 21, Spring Boot, Angular, TypeScript, SQL Server 2022, and MongoDB. Three validation strategies support the results obtained. Functional tests confirmed data integrity and consistency in all scenarios. Performance tests conducted with Apache JMeter at five load levels showed average times of 110 ms with 20 users and 472 ms with 70 concurrent users, with no errors (0.0% rate) and a maximum throughput of 95.3 req/s. Compared to the manual process, which took about ten minutes per request, the system reduces it to less than 1.5 seconds: an improvement of over 99.7%. The survey of 22 IT experts, based on ISO/IEC 25010 with a Cronbach's Alpha of 0.87, yielded averages above 4.4 out of 5 in all dimensions. GIATH constitutes a transferable technical-methodological model for digitizing and validating analogous administrative procedures in the public sector.

Keywords: Hexagonal architecture; Microservices; As-Is/To-Be; Extreme Programming; Human resources.



1. Introducción

La administración de recursos humanos en las entidades públicas demanda procesos confiables, auditables y conformes a la normativa vigente. En Ecuador, la Ley Orgánica del Servicio Público LOSEP (2010) rige todo lo relacionado con vacaciones, licencias y permisos de los funcionarios. En ese orden de ideas, la consulta a información consistente y rastreable es necesaria para asegurar la continuidad operativa, la conformidad con los requerimientos normativos y la transparencia administrativa. Análogamente, Espinoza Beltrán y Cachipundo Vásquez (2024) exponen procedimientos de planificación, evaluación, formación y supervisión de licencias para el desarrollo del quehacer institucional. Del mismo modo, Pinargote Párraga y Pico Macías (2023) afirman que la gestión estratégica del personal contribuye al crecimiento del cuerpo organizativo porque vincula las metas institucionales con los resultados. En esa misma línea, Alarcón Quinapanta y Hernández Junco (2024) señalan la retención y el desarrollo del talento como aspectos significativos para la sostenibilidad laboral. También se utilizan herramientas digitales para la renovación de la administración y la facilitación de los procesos internos (Proaño Ponce & Capurro Choez, 2023); y aquí se sitúan aquellas aplicaciones web y bases de datos con las que se gestiona la información y se resguardan procedimientos administrativos (Juma Alba et al., 2024).

En ese sentido, se han desarrollado diferentes soluciones tecnológicas para administrar el talento humano. Wang (2023) desarrolló una plataforma de gestión universitaria basada en computación en la nube, con arquitectura multicapa J2EE, con tecnologías como Hibernate para guardar datos, HDFS y HBase para almacenamiento distribuido. En una línea similar, Juma Alba et al. (2024) implementaron un sistema con PHP y CodeIgniter junto con MySQL para el control de asistencia y evaluación de desempeño laboral. Así mismo, Caciano Arroyo et al. (2024) implementaron un sistema web para la gestión de ventas y del personal de un supermercado, utilizando la metodología ágil Scrum, el framework Laravel y pruebas de rendimiento con JMeter, lo que evidenció una adecuada sinergia entre los equipos de trabajo y los procesos operativos de la organización. Estas propuestas evidencian mejoras en la automatización y el manejo de información, pero se centran en intenciones específicas o prototipos sin explorar arquitecturas orientadas al bajo acoplamiento, escalabilidad, interoperabilidad y trazabilidad completa de operaciones.

El problema científico que los trabajos previos no han resuelto radica en la vulnerabilidad del software ante la evolución normativa y la pérdida de trazabilidad operativa debido al alto acoplamiento arquitectónico. Cuando se producen cambios en

la legislación laboral como la LOSEP, es necesario actualizar las reglas de negocio del sistema. En arquitecturas tradicionales como multicapa o MVC monolítico, las modificaciones generan efectos en cascada que obligan a alterar bases de datos e interfaces de usuario, comprometiendo la estabilidad del sistema y la fidelidad de las auditorías. De acuerdo con Durán Delgado y Rojas Sánchez (2023), la poca integración entre aplicaciones impacta en la calidad de la gestión y la visibilidad de los procesos relacionados con el recurso humano. En esa misma línea, Carvajal-Pérez (2021) afirma que la prevalencia de procesos manuales limita la innovación administrativa y obstruye el avance moderno de la organización.

La revisión comparativa de la Tabla 1 revela tres brechas científico-técnicas no resueltas:

- **Brecha 1:** Desarticulación entre rediseño de procesos y desarrollo de software. Los trabajos que emplean As-Is/To-Be se concentran en el modelado de procesos sin documentar la implementación técnica ni la arquitectura resultante. Ferreira et al. (2026) proponen la mejora del proceso de reclutamiento mediante BPMN e inteligencia artificial, pero no especifican cómo se construyó técnicamente el sistema ni qué arquitectura lo soporta. Esta tendencia hacia la digitalización y la incorporación de inteligencia artificial en los sistemas judiciales de Ecuador y América Latina evidencia un interés por la modernización sectorial, aunque frecuentemente se relega a un segundo plano el sustento arquitectónico y la automatización de los flujos administrativos básicos de sus propios funcionarios (Palate-Ayme et al., 2024; Pérez-Pacheco & Simón Castellano, 2025). En sentido contrario, las propuestas estrictamente tecnológicas parten del desarrollo sin analizar el proceso administrativo subyacente (Wang, 2023; Juma Alba et al., 2024; Caciano Arroyo et al., 2024), lo que limita la alineación entre la solución informática y las necesidades institucionales reales.

- **Brecha 2:** Ausencia de arquitecturas desacopladas orientadas a auditoría y evolución normativa. Las soluciones documentadas emplean arquitecturas multicapa tradicionales (Wang, 2023) o MVC monolítico (Juma Alba et al., 2024; Caciano Arroyo et al., 2024), sin separar la lógica de dominio de la infraestructura de persistencia y presentación, lo que impide modificar las reglas de negocio de forma aislada. Una arquitectura bien estructurada permite que el sistema sea mantenible y evolucionable de forma independiente (Cárdenas-Gutiérrez et al., 2022). La arquitectura hexagonal permite aislar la lógica de negocio de los adaptadores externos como bases de datos, interfaces y servicios, mientras que los microservicios posibilitan el despliegue independiente y la evolución diferenciada de componentes (Celis Crisostomo et al., 2025; Rodríguez & Cedeño, 2023). Esta combinación

arquitectónica resulta pertinente en contextos donde las reglas de negocio cambian frecuentemente por actualizaciones normativas y donde cada operación debe ser auditable.

- **Brecha 3:** Evaluación limitada de criterios de calidad técnica. La mayoría de los trabajos revisados validan sus propuestas mediante pruebas funcionales o de rendimiento específicas como JMeter en Caciano Arroyo et al. (2024), pero no aplican marcos integrales de evaluación de calidad de software. La ausencia de validación bajo estándares como ISO/IEC 25010 limita la evidencia sobre atributos críticos como mantenibilidad, seguridad, eficiencia y usabilidad del sistema desarrollado.

las principales diferencias en términos de acoplamiento, adaptabilidad normativa, auditoría y escalabilidad.

Los resultados de la comparación muestran que la combinación de microservicios y arquitectura hexagonal presenta ventajas en desacoplamiento, adaptabilidad normativa, trazabilidad y escalabilidad respecto a las arquitecturas tradicionales. Estas características son especialmente relevantes en entornos públicos donde los cambios regulatorios afectan continuamente las reglas de negocio y donde la auditoría de operaciones constituye un requisito institucional.

La adopción de microservicios en este entorno institucional

Tabla 1. Comparación de enfoques metodológicos y arquitectónicos en sistemas de gestión administrativa y talento humano.

Fuente: Los autores

Autor(es)	Dominio	Metodología de desarrollo	Arquitectura	Aspectos relevantes
Wang (2023)	Gestión universitaria.	Desarrollo directo	Multicapa J2EE, computación en nube.	Arquitectura monolítica/multicapa con alto acoplamiento sin análisis previo del proceso.
Juma Alba et al. (2024)	Desempeño laboral.	Desarrollo directo	MVC con PHP CodeIgniter	Prototipo funcional sin estrategia de escalabilidad ni auditoría de operaciones.
Caciano Arroyo et al. (2024)	Gestión comercial y RRHH.	Scrum	MVC con Laravel.	Lógica de negocio acoplada a la infraestructura, orientada a un caso específico.
Ferreira et al. (2026)	Reclutamiento empresarial.	As-Is/To-Be con BPMN	Solución impulsada por IA	Orientado a modelado de procesos sin detalles de implementación arquitectónica.
Trabajo propuesto	Gestión de vacaciones, licencias y permisos en el sector público.	As-Is/To-Be + XP	Hexagonal + Microservicios	Integración de As-Is/To-Be, XP, arquitectura hexagonal y microservicios, validación (pruebas funcionales, rendimiento y evaluación de calidad basada en ISO/IEC 25010).

Para fundamentar la elección técnica de este estudio frente a paradigmas arquitectónicos convencionales, se comparan arquitecturas monolíticas, multicapa tradicionales y microservicios sin patrón hexagonal. La Tabla 2 resume

de escala moderada responde a la complejidad normativa del dominio. Un monolito modular podría procesar el caudal de solicitudes documentado con menor overhead operativo; sin embargo, la LOSEP regula mediante reglas diferenciadas cada

Tabla 2. Evidencia comparativa de la propuesta frente a paradigmas arquitectónicos tradicionales.

Fuente: Los autores

Criterio técnico	Arquitectura monolítica	Arquitectura multicapa tradicional	Microservicios sin patrón hexagonal	Propuesta: microservicios + arquitectura hexagonal
Acoplamiento de reglas de negocio	Alto (lógica dispersa en base de datos e interfaz).	Alto (dependencia secuencial estricta entre capas).	Media (aislado por servicio, pero acoplado a la infraestructura del microservicio).	Mínimo (el dominio es agnóstico a la base de datos, frameworks y contratos externos).
Adaptabilidad a cambios normativos	Baja (requiere compilar y desplegar toda la aplicación).	Baja (el cambio impacta hacia arriba y hacia abajo en la pila de capas).	Media (afecta solo a un microservicio, pero altera su persistencia).	Alta (las reglas de negocio pueden modificarse de forma aislada en el núcleo del dominio).
Granularidad de auditoría	Compleja (centralizada en una única base de datos transaccional).	Limitada (dependiente de disparadores o capas de persistencia).	Descentralizada (cada servicio audita, pero la lógica puede duplicarse).	Alta (trazabilidad encapsulada en cada microservicio).
Escalabilidad operativa	Media (involucra replicar todo el monolito).	Media (escala la capa completa, consumiendo recursos ineficientemente).	Alta (escalabilidad independiente por servicios funcionales).	Alta (escalabilidad independiente de servicios funcionales con bajo impacto sobre otros dominios).



tipo de trámite. Vacaciones, licencias con y sin remuneración y permisos poseen criterios de cálculo, plazos y niveles de aprobación que evolucionan de forma independiente. Esta heterogeneidad normativa convierte cada dominio funcional en un candidato natural para un microservicio autónomo, ya que permite modificar las reglas de un tipo de solicitud sin afectar los demás, mantener trazas de auditoría independientes por dominio y acotar el alcance de las pruebas de regresión ante cada cambio regulatorio. Aunque esta arquitectura introduce una mayor complejidad operativa y de despliegue respecto a un monolito modular, dicha complejidad se considera justificable debido a los beneficios obtenidos en mantenibilidad, trazabilidad y adaptación normativa.

Para que la arquitectura tecnológica responda fielmente a la realidad institucional, el desarrollo de software no puede ejecutarse de forma aislada de la ingeniería de procesos. La digitalización efectiva en el sector público requiere rediseñar los flujos administrativos antes de automatizarlos (Quiñónez Rentería & Segarra Jaime, 2025). Aunque estudios previos han utilizado modelos As-Is/To-Be para optimizar procesos organizacionales, estos no describen la transición hacia una arquitectura de software concreta (Ferreira et al., 2026). Por otro lado, las propuestas centradas exclusivamente en el desarrollo tecnológico suelen automatizar procesos sin una revisión organizacional previa (Wang, 2023; Juma Alba et al., 2024). En este contexto, la contribución científica de la presente investigación consiste en la validación empírica de una propuesta de software para la gestión de vacaciones, licencias y permisos en el sector público, desarrollada mediante la integración de As-Is/To-Be, Extreme Programming, Arquitectura Hexagonal y Microservicios. El modelo As-Is/To-Be permite rediseñar los procesos conforme a la normativa vigente, XP facilita la implementación iterativa y adaptable de dichos procesos, la Arquitectura Hexagonal protege la lógica de negocio frente a cambios tecnológicos y los Microservicios posibilitan la evolución independiente de cada dominio funcional. Esta integración constituye una propuesta metodológica orientada al desarrollo de sistemas administrativos públicos donde la trazabilidad, la auditoría y la adaptación normativa son requisitos críticos.

Además de los criterios de mantenibilidad y evolución normativa, la arquitectura propuesta incorpora mecanismos orientados a la protección de información sensible y al cumplimiento de requisitos de auditoría. Al gestionar datos sensibles de servidores públicos, el diseño prioriza la privacidad desde la arquitectura. El patrón hexagonal blindo el dominio donde residen las reglas de negocio frente a accesos externos, asegurando el aislamiento de la lógica de negocio respecto a interfaces de red, bases de datos y servicios externos.

En el presente trabajo se estudiaron las solicitudes de vacaciones, licencias y permisos de los empleados en una agencia gubernamental, que por razones de protección de identidad se denominará Institución Sujeta a Estudio (ISE). El sistema empleado anteriormente funcionaba con limitantes, que van desde errores en los cálculos, hasta la duplicidad de registros, además de retrasos en la consolidación de los datos y poca visibilidad sobre el estado de las peticiones. También la ausencia de integración entre herramientas dificultaba la comprobación de saldos, la identificación de cruces de turnos y la supervisión en tiempo real del procedimiento administrativo. Además, fueron revisados formularios de acciones del personal para permisos generados desde enero de 2024 a septiembre de 2025 y se destacaron 1.997 registros que contenían este tipo de diligencias, correspondientes a 626 funcionarios públicos particulares. Este número equivale a unas 95 solicitudes por mes relacionadas con períodos vacacionales, cierres administrativos, y demandas operativas de las distintas oficinas. Estos resultados muestran que existen múltiples áreas que representan una alta carga de trabajo para el área de Talento Humano y, en consecuencia, que es fundamental encontrar una solución informática que permita centralizar toda esta información, automatizar las validaciones, controlar los estados de las solicitudes y mantener la trazabilidad de las operaciones.

A partir de esta problemática, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida el desarrollo y la validación de un sistema informático, construido mediante el modelo As-Is/To-Be, la metodología Extreme Programming y una arquitectura de microservicios con patrón hexagonal, contribuyen a mejorar el control, la validación y la trazabilidad en la gestión de vacaciones, licencias y permisos en una institución pública?

Coincidiendo con este interrogante, la finalidad del estudio fue desarrollar un sistema informático para la gestión centralizada de solicitudes que permitiera también automatizar el cálculo de los saldos, validar cruces de turnos y registrar la trazabilidad del proceso administrativo. Como respuesta a esta necesidad, se desarrolló GIATH (Gestión Inteligente Automatizada de Talento Humano), una propuesta informática orientada a mejorar la administración de vacaciones, licencias y permisos en la ISE. La solución fue desarrollada mediante la metodología XP y una arquitectura de microservicios con patrón hexagonal. El rediseño de los procesos institucionales se realizó utilizando el modelo As-Is/To-Be. La aplicación fue construida con Java 21, Spring Boot, Angular, TypeScript, SQL Server 2022 y MongoDB.

En la Figura 1(a) se presenta el ciclo de desarrollo de Extreme Programming (XP), compuesto por las fases de planificación, diseño, codificación, prueba y lanzamiento. En la Figura 1(b) se muestra el modelo As-Is/To-Be, utilizado para diagnosticar el proceso actual, identificar brechas, definir el proceso objetivo y evaluar las mejoras propuestas (Ferreira et al., 2026). La integración de ambos enfoques permitió estructurar la propuesta GIATH a partir del análisis del proceso institucional existente y desarrollar la solución mediante iteraciones cortas con validación continua de los requerimientos (Muñoz Solórzano et al., 2024; Pambudi & Apriandari, 2023).

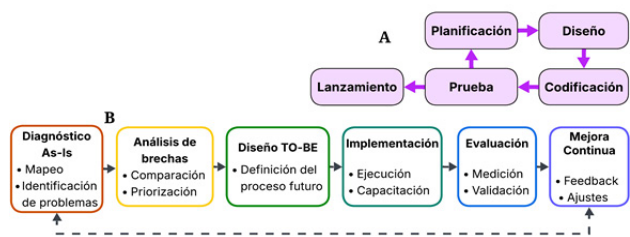


Figura 1. Representación de metodologías de desarrollo de software.

(a) Metodología XP; (b) Modelo As-Is/To-Be.

Fuente: Elaboración con base en (Ferreira et al., 2026; Merchán-Narváez et al., 2024)

La aplicación de As-Is/To-Be permitió definir el proceso objetivo para la gestión de vacaciones, licencias y permisos, mientras que XP proporcionó el marco de desarrollo iterativo utilizado para construir la solución propuesta (Cañizares Larco et al., 2025; Muñoz Solórzano et al., 2024; Shrivastava et al., 2021).

2. Materiales y Métodos

Este estudio se realizó en el área de Talento Humano de la Institución Sujeta a Estudio (ISE), ubicada en la ciudad de Machala, Ecuador, durante el lapso de septiembre de 2025 a febrero de 2026. Se analizó el procedimiento actual de administración de vacaciones, licencias y permisos del personal, así como los requerimientos de mejora y automatización, con el fin de diseñar y desarrollar una propuesta tecnológica que permitiera superar las limitaciones detectadas. Como parte del proceso, se contempló una evaluación cuantitativa del producto para determinar su funcionalidad, su rendimiento técnico y su aporte al proceso administrativo.

Para el desarrollo del sistema se aplicó una estrategia metodológica que integró el modelo As-Is/To-Be y la metodología Extreme Programming (XP), implementada mediante una arquitectura hexagonal fundamentada en microservicios. La decisión de adoptar dicha combinación se basó en la complementariedad de ambos enfoques: por un lado, el modelo As-Is/To-Be permitió analizar el estado actual del proceso y proponer un rediseño sustentado en evidencia (Bosco et al., 2024); por otro, XP facilitó el desarrollo iterativo, incremental y adaptativo del software

(Bautista-Villegas, 2022). Esta integración resultó pertinente para un entorno institucional caracterizado por requerimientos operativos y normativos susceptibles de cambio, así como por la necesidad de gestionar información sensible bajo estrictos protocolos de privacidad.

La Figura 2 consolida las actividades de los enfoques descriptivo y prescriptivo. Las fases del modelo As-Is/To-Be identificadas con etiquetas color lila. En este contexto, la fase As-Is se centró en el levantamiento del proceso vigente, la marcación de problemas y la detección de oportunidades de mejora, mientras que la fase To-Be sirvió para definir el rediseño de los flujos, las reglas de negocio y la arquitectura del sistema. Por su parte, las actividades propias de la metodología XP (etiquetas de color rojo) abarcaron la planificación, el diseño, la codificación y las pruebas, utilizando iteraciones cortas, retroalimentación continua y validaciones funcionales progresivas (Merchán-Narváez et al., 2024). En conjunto, estas fases permitieron articular el inicio, diseño, desarrollo y validación de la solución tecnológica dentro de un esquema iterativo. De este modo, se garantizó la construcción de un sistema alineado con las necesidades del área de Talento Humano, estructurado para someterse a evaluaciones métricas de mantenibilidad, escalabilidad y trazabilidad operativa.

La elección de una arquitectura de microservicios con patrón hexagonal se definió en contraposición a la opción de un monolito modular. Aunque un modelo modular habría proporcionado una separación lógica de los componentes, carecía de los beneficios operacionales críticos para este proyecto, el aislamiento de fallos, la escalabilidad específica por dominio y la protección robusta de la lógica de negocio siendo aspectos que el área técnica determinó como fundamentales para garantizar la evolución y sostenibilidad del sistema en el tiempo.

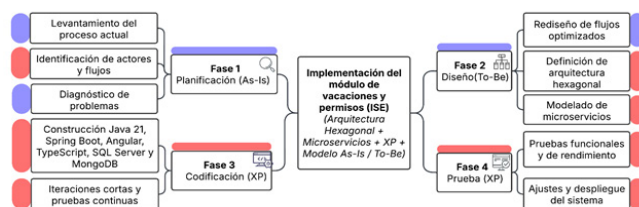


Figura 2. Fases y actividades del modelo As-Is/To-Be (color lila) e integración con la metodología XP (color rojo). Esta metodología fusionada se aplicó en el desarrollo de la aplicación propuesta de vacaciones y permisos del talento humano (GIATH).

Fuente: Los autores.

2.1 Fase de Planificación y levantamiento As-Is

Durante la planificación se identificaron los actores involucrados en el proceso de solicitudes (Tabla 3), estableciendo sus responsabilidades específicas dentro del sistema GIATH en apego a los perfiles de seguridad institucional.

Tabla 3. Actores Involucrados en el Sistema GIATH.
 Fuente: Los autores

Actor	Descripción
Servidor Judicial (solicitante)	Registra, adjunta documentos y envía solicitudes de permisos, vacaciones y licencias.
Analista de Talento Humano (TH)	Recibe, revisa, valida y tramita las solicitudes; comunica resultados al solicitante.
Coordinador de Recursos Humanos (RRHH)	Decide autorizaciones excepcionales y firma aprobaciones finales cuando corresponde.
Auditor / Control interno	Consulta trazabilidad, verifica cumplimientos y genera reportes para control y auditoría.
Administrador técnico	Gestiona catálogos, usuarios, roles y brinda soporte técnico y despliegue del sistema.

Elaborado a partir de reuniones de trabajo entre los actores involucrados, en la Tabla 4 se expone una historia de usuario global que sintetiza la funcionalidad principal que se espera del sistema. Esta historia fue el ancla para el plan de iteraciones dentro de XP.

De la historia de usuario general y de la información obtenida durante las sesiones de requerimientos se generó un modelo del proceso actual (As-Is). El diagrama resultante muestra las actividades de los diferentes actores, así como las interacciones y validaciones durante la gestión de solicitudes (Figura 3). Se analizaron para identificar distintas ineficiencias, tales como validaciones manuales, búsquedas fragmentadas de información relativa a servidores, normativa aplicable a permisos y licencias, y también registros de solicitudes incompletos o inconsistentes.

Tabla 4. Historia de usuario principal para la gestión de permisos y vacaciones.
 Fuente: Los autores

Elemento	Detalle
Como	Servidor Judicial, Analista de Talento Humano y Coordinador/a de Recursos Humanos.
Cuando	Cada vez que un servidor gestione licencias (remuneradas/no remuneradas), vacaciones o permisos por horas.
Necesito	Un sistema parametrizable y seguro que centralice la gestión y validación (motor de reglas) de solicitudes de vacaciones, licencias (remuneradas/no remuneradas) y permisos por horas, y que registre un historial inmutable de acciones.
Para	Estandarizar el registro único de solicitudes, automatizar y auditar el cálculo de saldos, prevenir cruces de turnos, simplificar la gestión y facilitar la adaptación a cambios normativos.

Las insuficiencias identificadas en el proceso As-Is se tradujeron en requisitos funcionales para el GIATH. En la Tabla 5 se muestra la matriz de requisitos priorizados del sistema, donde se indica el identificador, la prioridad y el criterio de aceptación que valida el requisito.

Tabla 5. Matriz de requisitos funcionales priorizados del sistema.
 Fuente: Los autores

ID	Requisito breve	Prioridad	Criterio de aceptación
R-01	Registro único de solicitudes	Alta	El sistema genera un folio único y asigna estado inicial "Nuevo".
R-02	Validación de saldo y turnos	Alta	Bloqueo automático si hay saldo insuficiente o cruce de turnos.
R-03	Motor de reglas parametrizable	Media	El administrador puede crear o modificar reglas sin necesidad de despliegue.
R-04	Seguimiento de estados	Alta	La solicitud avanza por los estados definidos: "Nuevo", "En revisión", "Aprobado", "Rechazado".
R-05	Notificaciones automáticas	Media	El sistema informa al solicitante y analista cuando existe actualización o revisión pendiente.
R-06	Bitácora inmutable de transacciones	Alta	Registra usuario, fecha y hora de cada acción (no editable).
R-07	Gestión de adjuntos en solicitudes	Media	El sistema valida y almacena archivos adjuntos según tipo de solicitud.
R-08	Acceso diferenciado por rol (seguridad)	Alta	Los permisos del usuario dependen de su perfil (solicitante, analista, auditor, etc.).

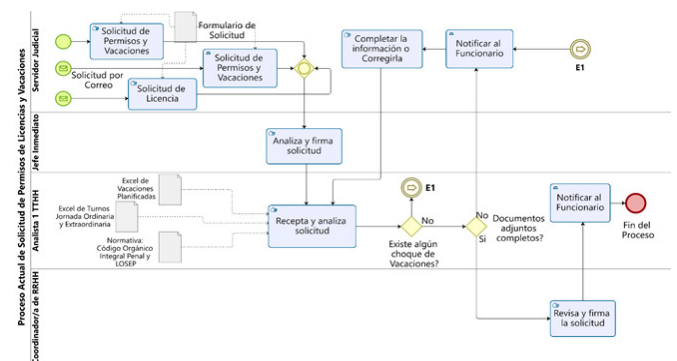


Figura 3. Diagrama del proceso de solicitudes de permisos y vacaciones en el departamento de Talento Humano (As-Is).
 Fuente: Los autores.

Como resultado de esta fase se elaboró el diagrama de casos de uso (Figura 4), el cual muestra la interacción de los actores con las funcionalidades de la plataforma. El sistema GIATH central se compone de módulos internos comunicados a través de interfaces definidas: gestión de solicitudes (registro y manejo de adjuntos); soporte y auditoría (registro en bitácora inmutable, administración de usuarios, reportes y notificaciones); validaciones y reglas (motor de reglas normativas, validación de saldos y cruces de turnos); y tramitación y autorización (revisión y aprobación/rechazo de solicitudes).

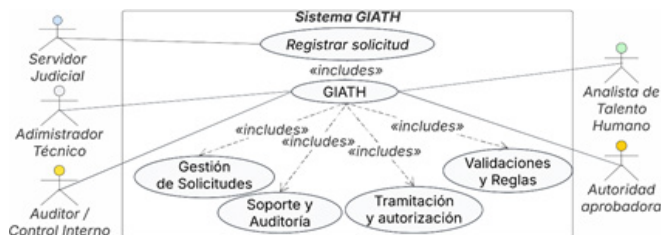


Figura 4. Diagrama de casos de uso de la plataforma GIATH.
Fuente: Los autores.

2.2 Fase de Diseño y elaboración To-Be

En cuanto a la etapa de diseño, basados en los requerimientos, se definió el flujo del proceso To-Be de GIATH. La Figura 5 muestra la propuesta que concentra la gestión en validaciones automáticas y reglas parametrizadas. El esquema propone reemplazar tareas manuales por procesos digitales sincronizados entre los participantes del sistema.

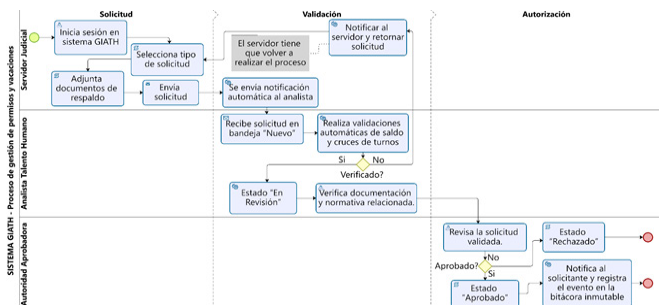


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de gestión de permisos y vacaciones propuesto (To-Be).
Fuente: Los autores.

La Tabla 6, muestra el CRC (Clase, Responsabilidades y Colaboraciones) de solicitud, detallando las responsabilidades y las clases colaboradoras que gestionan el registro, validación, manejo de estados, notificaciones y la rastreabilidad de las operaciones del sistema.

Al final de la fase se estableció la arquitectura de GIATH basada en microservicios y soportada por el patrón hexagonal (Figura 6). El acceso al sistema se realiza en la capa de presentación mediante una aplicación frontend desarrollada en Angular y

Tabla 6. Tarjeta CRC – Clase Solicitud Permiso Vacaciones.
Fuente: Los autores

Clase: Solicitud Permiso Vacaciones	
Responsabilidad	Colaboración
Registrar nuevas solicitudes (vacaciones, permisos o licencias).	SolicitudRepository – Persiste la solicitud
Asociar documentos adjuntos según el tipo de solicitud.	DocumentService – Gestiona archivos adjuntos ValidadorDocumentos – Verifica tipos permitidos
Validar saldo disponible y cruces de turnos mediante el motor de reglas.	MotorReglas – Aplica validaciones automáticas ServicioSaldos – Consulta saldos actuales
Actualizar estados del flujo (Nuevo, En revisión, Aprobado, Rechazado).	BitacoraTransacciones – Registra cambio de estado WorkflowService – Gestiona transiciones
Enviar notificaciones automáticas a los actores involucrados.	NotificacionService – Comunica cambios de estado TemplateService – Genera mensajes
Registrar transacciones en la bitácora inmutable.	BitacoraTransacciones – Mantiene trazabilidad AuditoriaService – Gestiona auditoría
Permitir la consulta del historial completo por servidor o analista.	ReportService – Genera consultas

TypeScript. Desde esta interfaz, las peticiones se transmiten al backend a través de protocolos HTTP/REST. Para garantizar la seguridad de la información y el cumplimiento normativo en cuanto a protección de datos, se implementó un esquema de autenticación y control de acceso basado en OIDC (OpenID Connect) y tokens JWT (JSON Web Tokens).

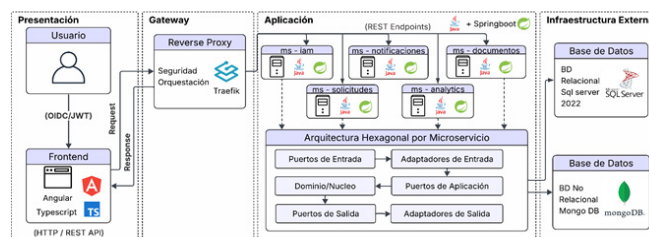


Figura 6. Modelo de la Arquitectura Hexagonal basada en microservicios del sistema GIATH.
Fuente: Los autores.

Las solicitudes pasan a ser atendidas a través de una capa gateway implementada con Traefik, el cual actúa como reverse proxy. Este módulo actúa como un punto único de acceso al sistema, provee enrutamiento para las peticiones y permuta cada solicitud al microservicio adecuado. Por lo tanto, el frontend no habla directamente con un individual servicio, en vez de que habla a un punto de entrada limitado.

Los microservicios que son el núcleo del sistema se encuentran en

esta capa de aplicación. El servicio ms-iam se ocupa de usuarios, roles, permisos y control de acceso; ms-solicitudes gestiona el alta, validación y proceso de las solicitudes; y ms-documentos gestiona el almacenamiento y consulta de anexos. También se contempla ms-analytics como servicio adicional para tableros e indicadores, con integración desacoplada al flujo central del sistema.

Cada microservicio es responsable de su propagación basada en la arquitectura hexagonal. En esta arquitectura, los adaptadores de entrada son los clientes de las peticiones REST. Los puertos de la aplicación son los casos de uso, el dominio es donde residen las reglas de negocio y los puertos de salida son los que se comunican con bases de datos u otros servicios externos. Esta división permite mantener la lógica principal lejos de la interfaz y la infraestructura de los detalles de los métodos.

Finalmente, la infraestructura de persistencia se clasificó en dos tipos de almacenamiento, aplicando políticas de seguridad de la información y protección de datos. La información transaccional relacional (usuarios, contraseñas encriptadas mediante algoritmos de hash seguros como Bcrypt, permisos, estados y trazabilidad de auditoría) se almacena en SQL Server 2022, asegurando integridad referencial y soporte para encriptación de datos en reposo. Por otro lado, los archivos adjuntos que contienen información sensible y privada de los servidores públicos se gestionan en MongoDB a través de GridFS. Esto optimiza el manejo de documentos no estructurados sin sobrecargar la base relacional, restringiendo su descarga y visualización estrictamente a través de las validaciones de seguridad del backend.

2.3 Fase de Codificación

La fase de codificación del backend de la plataforma se ejecutó aplicando los principios ágiles de XP. Se adoptó una arquitectura orientada a microservicios, con el patrón hexagonal en el interior, teniendo como resultado una solución desacoplada, mantenible y escalable. Utilizando Java 21 y Spring Boot, se consolidó una estructura modular que distingue claramente la lógica de negocios del acceso a los datos y de las interfaces para la comunicación. Para garantizar el cumplimiento normativo y la gestión de privacidad, se integró el framework Spring Security. Este componente intercepta todas las peticiones entrantes, valida la firma criptográfica de los tokens JWT y aplica el Control de Acceso Basado en Roles (RBAC), asegurando que solo los perfiles autorizados (ej. Analistas o Coordinadores) puedan ejecutar acciones sensibles dentro de los microservicios. Adicionalmente, cada microservicio operó con su propio repositorio y esquema de base de datos.

Tal como se muestra en la Figura 7, cada microservicio se

estructuró en capas con funciones definidas en cada una. La capa “domain” concentra el núcleo del negocio e incluye modelos, servicios y excepciones que representan las reglas e invariantes del sistema sin depender de frameworks ni de tecnologías concretas. La capa “application” se ocupa de los casos de uso y coordina los flujos a través de puertos de entrada y salida, por lo que la lógica del dominio está desacoplada de la persistencia y de los servicios externos. La capa “infrastructure” provee las implementaciones concretas de persistencia, entidades JPA y manejo global de excepciones, permitiendo actualizar tecnologías subyacentes sin alterar la normativa institucional. Paralelamente, la capa “web” expone la funcionalidad vía API REST mediante contratos de comunicación estrictamente validados. La carpeta resources aloja la configuración por ambientes y las migraciones versionadas a través de Flyway.

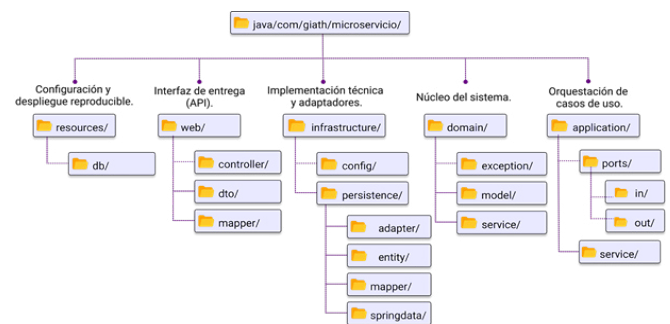


Figura 7. Estructura de carpetas del proyecto GIATH.

Fuente: Los autores.

En este punto, el modelo de datos que apoyó la lógica de negocio estaba en su lugar. La implementación presentó servicios de aplicación, adaptadores de persistencia y endpoints REST para manejar los ciclos de vida de las peticiones, de acuerdo con el modelo relacional del sistema. El modelo de datos se orienta a la normalización, separación de entidades de negocio transaccionales, catálogos y elementos paramétricos junto a la definición de las relaciones con claves primarias y foráneas para permitir un bajo acoplamiento, integridad referencial, consistencia y facilidad de mantenimiento. Las reglas de negocio relacionadas con balances, validaciones y requisitos fueron resueltas en componentes separados, que entonces no fueron incorporados en el código.

Además, se añadieron mecanismos de trazabilidad y control a través de la consignación de balances previos y posteriores a cada operación, identificadores únicos y marcas temporales de creación y actualización. La migración del esquema fue gestionada con migraciones versionadas por medio de Flyway, integradas al proceso de construcción y despliegue

del microservicio, lo que le permitió propagar los cambios a través de los ambientes y mantener un historial de cambio en el esquema. Con el desarrollo del backend y del modelo de datos que sustenta, el sistema logra un nivel de madurez funcional suficiente para probar el comportamiento, la aplicación de las reglas de negocio y la interacción de las diferentes capas y componentes construidos.

2.4 Fase de Pruebas

La Figura 8 sintetiza el proceso de validación del sistema mediante tres tipos de pruebas:

- **P1-Prueba funcional**, orientada a comprobar el comportamiento funcional del sistema de gestión de solicitudes, la aplicación de las reglas de negocio, el control de estados y la persistencia de la información. Este procedimiento permitió contrastar los resultados obtenidos con los criterios de aceptación definidos, asegurando la coherencia del flujo operativo y la correcta aplicación de las validaciones establecidas.

- **P2-Prueba de rendimiento**, destinada al rendimiento frente a varias cargas concurrentes. Esto hizo posible conocer el comportamiento del sistema ante aumentos de demanda y comprobar su estabilidad en ambientes similares a los institucionales.

- **P3-Prueba UI/UX**, destinada a la evaluación de la interfaz y la experiencia de uso de los expertos. Esta encuesta fue un cuestionario digital aplicado al finalizar la interacción con el sistema en los escenarios específicos.

Para evaluar el logro de los objetivos en las pruebas técnicas P1 y P2 se emplearon herramientas especializadas. La validación funcional se apoyó Swagger UI, lo cual permitió inspeccionar y verificar los endpoints OpenAPI con base en la matriz de requisitos de la Tabla 5. Para las pruebas de rendimiento se utilizó Apache JMeter, ejecutando pruebas concurrentes para observar el comportamiento del backend; el criterio de aceptación técnico se fijó en un tiempo medio de respuesta menor a 1 segundo con

una tasa de error del 0% para todos los escenarios (Papalkar & Alvi, 2024; Pilicita Garrido et al., 2020).

Respecto a la prueba P3, el cuestionario contiene 10 ítems valorados mediante una escala Likert de cinco niveles (1 – Totalmente en desacuerdo, 2 – En desacuerdo, 3 – Indiferente, 4 – De acuerdo y 5 – Totalmente de acuerdo). La estructura de la encuesta (Tabla 7) toma como base el modelo de calidad de la norma ISO/IEC 25010 y abarca las dimensiones de Idoneidad Funcional (IF), Eficiencia de Desempeño (ED), Usabilidad (US), Fiabilidad (FI) y Seguridad (SE). El umbral de aceptación para este análisis exige una puntuación media grupal superior a 4,0 (“De acuerdo”) en cada métrica evaluada (Cortés Rojas, 2024).

Para la recolección estructurada de información se implementó un formulario digital a través de Google Forms (Manggabernani & Darlis, 2024). Previo a su aplicación, el instrumento fue validado mediante juicio de expertos para garantizar la claridad y pertinencia de los ítems, un procedimiento metodológico indispensable para asegurar el diseño técnico de cuestionarios organizados y la obtención de datos institucionales precisos (Bedolla Solano et al., 2026). Asimismo, para fortalecer el rigor del análisis estadístico, se determinó evaluar la consistencia interna y confiabilidad del cuestionario mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, estableciendo un umbral mínimo aceptable de 0,7.

La muestra cuantitativa estuvo conformada por 22 profesionales del área de Tecnologías de la Información e Ingeniería de Software. La captación se realizó bajo un muestreo no probabilístico intencional. Los criterios de inclusión exigieron un mínimo de tres años de experiencia en desarrollo o aseguramiento de calidad (QA) y un dominio intermedio-avanzado en arquitecturas de sistemas institucionales. La participación mantuvo carácter voluntario y anónimo. Los datos recolectados se sometieron a estadística descriptiva para perfilar la percepción técnica sobre prevención de errores, tiempos de carga y restricciones de acceso.

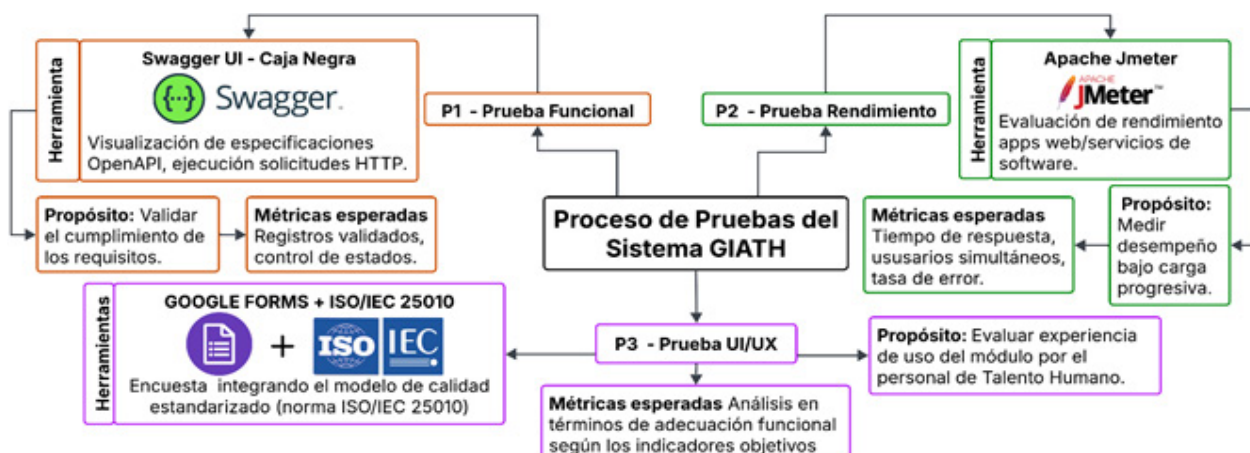


Figura 8. Pruebas al sistema GIATH.

Fuente: Los autores.

Tabla 7. Cuestionario de encuesta basado en ISO/IEC 25010.
Fuente: Los autores

Métrica	Ítem	Enunciado	1	2	3	4	5
AF – Completitud funcional	P1	El sistema permite gestionar completamente una solicitud.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AF – Corrección funcional	P2	El sistema aplica correctamente las validaciones y cálculos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AF – Pertinencia funcional	P3	Las funciones son apropiadas para el proceso institucional.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ED – Comportamiento temporal	P4	El sistema responde en tiempos adecuados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ED – Capacidad	P5	El sistema funciona bien con varios usuarios al mismo tiempo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
US – Facilidad de Aprendizaje	P6	Es fácil registrar y revisar una solicitud.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
US – Protección contra errores	P7	El sistema previene errores al ingresar información.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
US – Presentación de interfaz	P8	La información se muestra de forma clara y ordenada.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FI – Madurez	P9	El sistema funciona sin fallos durante su uso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SE – Control de acceso	P10	El acceso está restringido según el rol del usuario.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Resultados y Discusión

3.1 Resultados

3.1.1 Resultados de encuesta a expertos

El análisis de confiabilidad del instrumento arrojó un coeficiente Alfa de Cronbach de 0,87 lo cual confirma una alta consistencia interna de la escala utilizada en el estudio. La Figura 11 presenta una combinación de los resultados porcentuales obtenidos en cada pregunta del cuestionario de la Tabla 7. Los datos muestran una concentración en las categorías De acuerdo y Totalmente de acuerdo sin registros en las opciones de rechazo. Esta tendencia respalda la aceptación técnica del sistema por parte de los evaluadores. En la pregunta P10 referida al control de acceso basado en roles el 100 % de la muestra seleccionó Totalmente de acuerdo confirmando la eficacia del esquema de permisos implementado. Respecto a la claridad en la presentación de la información evaluada en P8 el 90,9 % marcó Totalmente de acuerdo y el 9,1 % De acuerdo. En los ítems P6 y P7 sobre la facilidad de registro y la prevención de errores el 81,8 % optó por Totalmente de acuerdo y el 18,2 % por De acuerdo. Las cifras evidencian que el diseño de la interfaz y las validaciones del sistema facilitan una interacción controlada y comprensible.

En las métricas correspondientes a las preguntas P1 y P4 el 72,7 % de los participantes indicó Totalmente de acuerdo y el 27,3 % señaló (De acuerdo) lo que refleja que el flujo principal de la aplicación se encuentra bien realizado y la agilidad en los tiempos

de respuesta. Para los ítems P2 P5 y P9 la máxima valoración alcanzó el 90,9 %. Por su parte la pregunta P3 obtuvo un 81,8 % de respuestas afirmativas y concentró el porcentaje restante en la categoría Indiferente. Este hallazgo sugiere que, aunque la plataforma cumple con los requisitos institucionales básicos existen oportunidades de mejora en la pertinencia de ciertas funciones. Las métricas verifican que el aplicativo satisface las necesidades operativas y optimiza el trabajo administrativo mediante validaciones automáticas y trazabilidad de acciones.

Se realizó una validación técnica preliminar al aplicarse a profesionales de TI/Software y no a los usuarios finales del área administrativa. Para mitigar esta limitación y cumplir con el principio de participación continua del cliente de la metodología XP, el proyecto integró a dos ingenieros delegados por el departamento de Talento Humano. Estos profesionales actuaron como expertos del dominio a través de reuniones semanales. En estos encuentros suministraron la información operativa necesaria y verificaron directamente el funcionamiento del aplicativo en cada iteración. Esta dinámica de trabajo garantizó que el flujo del sistema y las reglas de negocio se ajusten a los procesos reales de la institución manteniendo la estricta confidencialidad de la información interna. El proceso permitió asegurar la utilidad de la plataforma y derivó la ejecución de encuestas al resto del personal para futuras fases de implementación.

Los promedios mostrados en la Figura 12 permiten estimar cómo se comportaría el sistema con las métricas de calidad de la ISO/

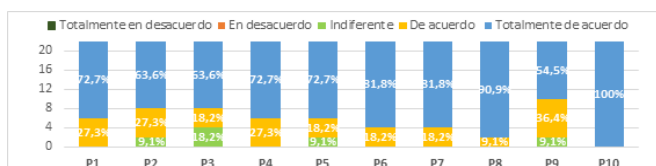


Figura 9. Distribución de respuestas por ítem (escala Likert).

Fuente: Los autores.

IEC 25010. Todos los valores evaluados (por encima de 4,4 de 5) indican un grado alto en cada uno de los criterios, sin ninguna desviación que modifique su funcionamiento en general. La máxima puntuación para control de acceso indica que los mecanismos de seguridad son lo suficientemente fuertes como para un entorno institucional, mientras que las puntuaciones de usabilidad indican una interacción simple y constante en las pruebas.

Los indicadores un poco más bajos no significan que el sistema es no funcional, pero ayuda a encontrar áreas de mejora conforme se conoce más del sistema. Este comportamiento es normal en los sistemas o aplicaciones recién estrenados; sin embargo, conforme avanza su uso en cuanto a experiencia práctica, se realizan ajustes de forma paulatina en sus funcionalidades. Estos resultados demostraron un alto grado de coherencia entre los subsistemas y una respuesta estable a las demandas del área de recursos humanos.

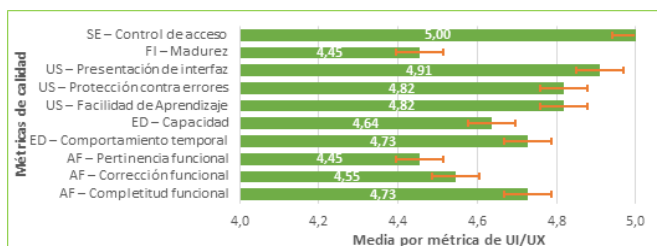


Figura 10. Promedio por métrica de calidad (ISO/IEC 25010).

Fuente: Los autores.

Tabla 8. Pruebas funcionales del módulo de solicitudes (endpoints evaluados, códigos HTTP y evidencias).

Fuente: Los autores

Aspecto validado	Método y endpoint	Escenario de prueba	Código HTTP	Evidencia registrada	Resultado
Creación de solicitud con datos válidos	POST /api/solicitudes/solicitud	Envío de solicitud con datos completos y rango de fechas permitido	201	Identificador generado (id = 1002), folio y fechaCreacion en el registro de auditoría	Registro exitoso
Control de integridad de datos (validación de rangos de fecha)	POST /api/solicitudes/solicitud	Envío de solicitud con fechaHasta menor que fechaDesde	400	Mensaje de validación: "fechaHasta no puede ser menor que fechaDesde"	Solicitud rechazada por inconsistencia en las fechas.
Actualización de estado dentro del flujo de tramitación	PUT /api/solicitudes/solicitud/{id}/estado	Cambio de estado de una solicitud existente (id = 1002)	200	Actualización de campos de auditoría (usuarioModificacion, fechaModificacion) y estado	Estado actualizado

3.1.2 Resultados de funcionalidad

Los resultados presentados en la Tabla 8 muestra casos de prueba del módulo de solicitudes. En creación válida (POST /api/solicitudes/solicitud con datos completos), el servidor retorna 201 y graba el ID generado, folio y fechaCreacion en la auditoría, verificando el éxito del registro. Ante fechas incorrectas (mismo endpoint, fechaHasta < fechaDesde), devuelve 400 con el mensaje de validación correspondiente, evitando la persistencia. Al modificar el estado de una solicitud (PUT /api/solicitudes/solicitud/1002), se devuelve 200 y además se modifican los campos usuarioModificacion, fechaModificacion junto con el estado, representando la transición. En cada situación registra el endpoint, código y audit data para probar que el sistema mantiene los datos consistentes y falla como se espera.

3.1.3 Resultados de pruebas de rendimiento

El sistema fue sometido a pruebas de rendimiento mediante pruebas de estrés con Apache JMeter en el microservicio de peticiones (ms-solicitudes) y en el microservicio de identidades (ms-iam). Probada en local con Java 21, Spring Boot y base de datos [SQL Server 2022 + MongoDB] bajo SO Windows 11 Pro, procesador AMD Ryzen 5 7520U y 16 GB de RAM. La carga se construyó en cinco escenarios con 20, 40, 70, 100 y 350 usuarios concurrentes, 10 iteraciones por usuario virtual y ramp-up progresivos, tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Configuración de las pruebas de carga.

Fuente: Los autores

Prueba	Usuarios concurrentes	Ramp-up (s)	Iteraciones por usuario	Muestras
1	20	5	10	200
2	40	10	10	400
3	70	15	10	700
4	100	20	10	1000
5	350	30	10	3500

Para el análisis, se consideraron el promedio de tiempo de respuesta, la mediana, los percentiles 90 y 95, la desviación estándar, el throughput y la tasa de error, y los resultados se muestran en la Tabla 10. Dichas métricas hacen posible evaluar el rendimiento temporal del servicio y su procesamiento a diferentes niveles de concurrencia.

Los resultados en la Tabla 10 revelan que el tiempo promedio varió de 110 ms a 210 ms para 20 y 40 usuarios simultáneos, con medianas entre 60 ms y 140 ms; el percentil 95 no superó los 680 ms en estos casos, el throughput alcanzó hasta 74.2 req/s, y no hubo errores al ejecutar. Bajo la configuración de 70 usuarios concurrentes, el tiempo promedio subió a 472 ms y el percentil 95 fue de 1439 ms, mientras que con 100 y 350 usuarios el promedio se elevó a 780 ms y 3200 ms, respectivamente, y el percentil 95 alcanzó 2350 ms y 6800 ms, indicando una mayor demanda hacia los recursos del sistema bajo carga pesada. La tasa de error se mantuvo en 0.0 % en todos los escenarios, por lo que las solicitudes fueron procesadas sin incidencias. La Figura 13 puede utilizarse para comparar estos resultados con el promedio, la mediana, el percentil 95 y el throughput. Para complementar

estas métricas, la Tabla 11 presenta el consumo de recursos del servidor durante las mismas pruebas.

Se observa que la utilización de CPU crece de manera directamente proporcional a la carga, alcanzando un promedio del 98 % y picos del 100 % con 350 usuarios, lo que señala al procesador como el principal cuello de botella en el entorno de prueba local. La memoria RAM se mantiene dentro de los 16 GB disponibles, con un máximo de 5100 MB, sin síntomas de agotamiento ni intercambio excesivo. El tráfico de red, por su parte, escala linealmente con el número de peticiones, sin saturaciones anómalas. Estos indicadores confirman que, aun bajo estrés severo, el sistema permanece estable, aunque la latencia se eleva por la saturación de la CPU.

Finalmente, la Figura 11 desglosa el tiempo de respuesta del flujo de solicitudes discriminando la contribución de cada microservicio (ms-solicitudes, ms-iam) y el total combinado, tanto para el promedio como para el percentil 95, en los escenarios de 70, 100 y 350 usuarios.

Tabla 10. Resultados de rendimiento por escenario de carga.

Fuente: Los autores

#	Tiempo promedio (ms)	Usuarios concurrentes	Mediana (ms)	Percentil 90 (ms)	Percentil 95 (ms)	Desviación estándar (ms)	Throughput (req/s)	Tasa de error (%)
1	20	110	60	290	360	125.0	68.5	0.0
2	40	210	140	520	680	210.0	74.2	0.0
3	70	472	237	1158	1439	515.9	73.6	0.0
4	100	780	420	1850	2350	820.0	78.1	0.0
5	350	3200	2600	5400	6800	2100.0	95.3	0.0

Tabla 11. Consumo de recursos del servidor durante las pruebas de carga.

Fuente: Los autores

#	Usuarios	CPU (%) promedio	CPU (%) pico	RAM (MB) promedio	RAM (MB) pico	Red (KB/s) promedio	Red (KB/s) pico
1	20	38	65	820	980	510	890
2	40	55	82	1150	1380	840	1420
3	70	78	95	1720	2050	1820	2200
4	100	90	99	2400	2800	2580	3500
5	350	98	100	4200	5100	7200	9600

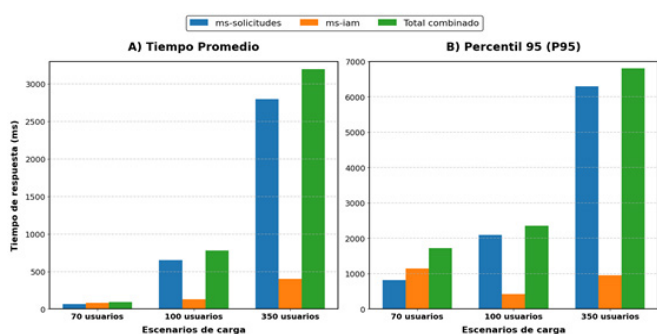


Figura 11. Desglose del tiempo de respuesta del flujo de solicitudes. (A) Tiempo promedio y (B) percentil 95 (P95), discriminado por microservicio (ms-solicitudes, ms-iam) y total combinado, para cargas de 70, 100 y 350 usuarios concurrentes. Fuente: Apache JMeter.

En la Figura 11 se observa que ms-solicitudes concentra la mayor parte de la latencia total, en particular en los percentiles 95 de 350 usuarios (6300 ms), mientras que ms-iam se mantiene por debajo de 1150 ms en P95 en todos los casos. Esta diferencia valida la decisión arquitectónica de desacoplar la gestión de identidades y señala a ms-solicitudes como el componente prioritario para futuras acciones de escalado horizontal o balanceo de carga.

Considerando los resultados de la Tabla 10, con usuarios concurrentes desde 20 hasta 100 el tiempo medio de respuesta del sistema se situó entre 110 ms y 780 ms (mediana de 60 ms a 420 ms), con un percentil 95 de hasta 2350 ms y un throughput que alcanzó 78,1 req/s. Para 350 usuarios, el tiempo promedio ascendió a 3200 ms (P95 = 6800 ms) y el throughput llegó a 95,3 req/s. No se produjeron errores en ningún escenario (tasa de error 0,0 %), lo que indica que el sistema mantiene la disponibilidad bajo carga, aunque la latencia aumenta debido a la saturación de la CPU observada en la Tabla 11.

3.1.4 Evidencias de Software

La digitalización del proceso de vacaciones y permisos mediante la arquitectura propuesta permitió superar las limitaciones operativas y los cuellos de botella característicos del modelo tradicional (As-Is). Para evidenciar el nivel de desacoplamiento de la solución (To-Be), la Figura 12 expone la orquestación de eventos en el backend a través de un diagrama de secuencia.

A diferencia del procedimiento previo, donde el servidor público debía ingresar la totalidad de sus datos de forma manual, el sistema delega la responsabilidad de validación a la interacción entre microservicios. Al originarse una petición, el microservicio de peticiones (ms-solicitudes) consulta directamente al gestor de identidades (ms-iam) para validar la jerarquía, los roles de acceso (RBAC) y determinar al jefe inmediato. Esta integración garantiza la inmutabilidad de la información institucional desde la creación del registro.

Asimismo, el patrón hexagonal aísla el cálculo automatizado de días y horas en la capa de dominio, independizándolo de la persistencia de datos y de la vista. Una vez que las reglas de negocio aprueban la transacción, el sistema persiste la asignación y dispara eventos asíncronos para notificar a los responsables en la cadena de aprobación. Este rediseño arquitectónico no solo reduce el ingreso manual de datos, sino que previene inconsistencias transaccionales, asegurando una trazabilidad auditable de cada decisión tomada en el flujo.

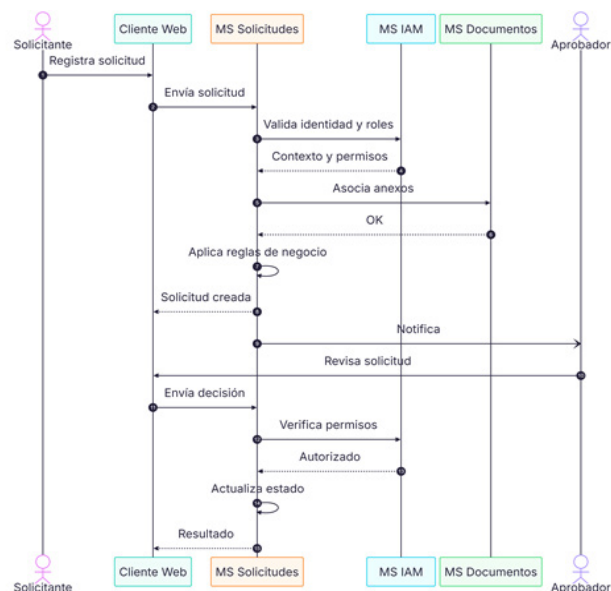


Figura 12. Diagrama de secuencia formal del flujo de solicitud de vacaciones y permisos. Se evidencia la orquestación de eventos entre la interfaz cliente, el microservicio de solicitudes y el gestor de identidades para la validación asilada de las reglas de negocio.

Fuente: Los autores.

Para dimensionar el impacto real de este rediseño arquitectónico, se contrastó el desempeño del nuevo flujo automatizado frente al procedimiento manual que reemplaza. Tal como se evidenció en los resultados de rendimiento (sección 3.1.3), el sistema procesa y valida las reglas de negocio de una solicitud en tiempos inferiores a 1.5 segundos, incluso en escenarios de alta concurrencia. La Tabla 12 recoge la comparación directa entre ambos modelos operativos.

Tabla 12. Comparación del tiempo total de registro de una solicitud entre el proceso manual y el sistema GIATH.

Método	Tiempo promedio por solicitud	Actividades principales involucradas
Manual (anterior)	~10 minutos (600 000 ms)	Descargar el formulario institucional, llenar a mano datos personales y fechas, firmar, escanear y enviar por correo electrónico o en físico.
GIATH (automatizado)	< 1.5 segundos (1500 ms)	Ingresar tipo, subtipo y motivo; el sistema precarga la identidad, calcula automáticamente los días u horas hábiles y notifica al jefe inmediato.

La comparación evidencia una reducción superior al 99.7% en el tiempo de registro operativo. Esta optimización es consecuencia directa de la eliminación de la captura manual de datos, delegando el cálculo de días hábiles y la notificación asíncrona a la lógica de los microservicios ilustrada en la Figura 12. De este modo, los tiempos de procesamiento obtenidos y el modelado lógico del sistema validan la transición hacia un esquema capaz de absorber la carga operativa de la institución.

3.2 Discusión

El presente estudio tuvo por objetivo desarrollar y evaluar un sistema informático para la administración de vacaciones, permisos y licencias, mediante una estrategia que integra el rediseño de procesos administrativos con una arquitectura de software desacoplada. Los resultados funcionales detallados en la Tabla 8 confirman el cumplimiento estricto de las reglas de negocio y la consistencia en el manejo de la información, un problema crítico en los flujos administrativos manuales. Esta verificación anticipada constituye una práctica estándar en la ingeniería de software para mitigar los riesgos de integración y reducir los costos de refactorización en etapas avanzadas del ciclo de vida del sistema.

La integración del análisis As-Is/To-Be con la metodología Extreme Programming permitió transformar un proceso institucional con validaciones manuales en un flujo digital organizado por reglas, estados y roles. Como evidencia cuantitativa de esta transición, la Tabla 12 de la sección 3.1.4 mostró que el tiempo de registro por solicitud se redujo desde aproximadamente 10 minutos en el proceso manual (que incluía descarga de formularios, llenado a mano, firma, escaneo y envío físico o por correo) hasta menos de 1.5 segundos en GIATH, lo que representa una reducción superior al 99.7%. Adicionalmente, la precarga automática de datos del empleado eliminó los errores de digitación en campos como nombres, cédula, cargo y dependencia, y el cálculo automático de días hábiles evitó inconsistencias en las fechas. Si bien la cuantificación exacta de errores y registros duplicados en el modelo As-Is no fue posible debido a la dispersión de la información en hojas de cálculo no centralizadas (lo que en sí mismo evidencia una limitación del proceso anterior), el análisis de los 1.997 registros históricos identificó ausencia de validaciones automáticas de saldos y cruces de turnos, así como la imposibilidad de rastrear el estado de las solicitudes en tiempo real. Estas brechas, documentadas en la fase de levantamiento, son las que el modelo To-Be resuelve mediante validaciones integradas en el motor de reglas, registro inmutable de cada acción y control de acceso diferenciado por rol. La cuantificación del ahorro en errores e inconsistencias

queda sujeta a medición en una fase de despliegue real, como se plantea en el trabajo futuro.

Desde un punto de vista técnico se optó por una arquitectura basada en microservicios con patrón hexagonal que desacopla la lógica de dominio de los detalles de infraestructura tales como la interfaz de usuario y la persistencia de datos. Esta segregación ofrece un buen soporte para el mantenimiento evolutivo y minimiza la posibilidad de que modificaciones en la interfaz, en la base de datos, o en servicios externos puedan tener impacto directo en las reglas centrales del procedimiento. El sistema resuelve los problemas de rigidez de sistemas monolíticos tradicionales y acoplamiento entre objetos. Un resultado importante de este diseño es el desempeño del motor de reglas (requisito R-03); siendo parametrizable, posibilita cambiar los umbrales por cantidades de días y los flujos de aprobación ante modificaciones en la legislación sin necesidad de modificar, compilar o desplegar el código fuente del dominio. Además, la separación de servicios independientes permite asegurar reproducibilidad de procesos claves con altísima concurrencia tales como cálculo automático de saldos y detección de cruces en turnos -estos procesos corren con recursos de cómputo aislados- y así optimiza tolerancia a fallos a nivel de infraestructura.

La Tabla 13 presenta una comparación entre GIATH y estudios previos, considerando el tipo de aporte, contexto, finalidad, validación, alcance operativo y aplicabilidad. Esta comparación permite ubicar el aporte del presente trabajo frente a investigaciones que también emplean soluciones tecnológicas para resolver problemas de gestión, automatización o control de información.

En relación con Santacruz-Erraez y Poma-Japón (2025), coincide en el empleo de microservicios para potenciar la escalabilidad, seguridad y una mejor separación de los componentes. Su trabajo propone una arquitectura para sistemas transaccionales financieros basada en tecnologías como Spring Boot, Spring Cloud, Eureka, Keycloak y Docker, validada mediante pruebas de rendimiento y seguridad. Ambos trabajos coinciden en que una arquitectura orientada a servicios facilita superar las limitaciones de los sistemas monolíticos, pero difieren en el dominio de aplicación: mientras el estudio financiero se enfoca en transacciones de alta demanda y autenticación centralizada, GIATH aborda la administración de talento humano, donde el mayor desafío es gestionar solicitudes, validar saldos, analizar documentos, aplicar estados de aprobación y mantener la trazabilidad institucional. En contraste con los resultados reportados por Santacruz-Erraez y Poma-Japón, que no detallan tiempos de respuesta por escenario, GIATH demostró en las pruebas de carga (Tabla 10) que puede procesar hasta 95.3 req/s y mantener una tasa de error del 0%

incluso con 350 usuarios concurrentes, con tiempos promedio que van de 110 ms (20 usuarios) a 3200 ms (350 usuarios). Esta capacidad de sostener la estabilidad bajo estrés, combinada con una evaluación formal de calidad mediante la norma ISO/IEC 25010 (puntuaciones superiores a 4.4/5), constituye un nivel de evidencia más estructurado que el reportado por los estudios previos comparados.

por microservicio (Figura 11). La evaluación de usabilidad de GIATH mediante ISO/IEC 25010 constituye un punto de contraste metodológico, ya que los otros estudios no aplican un estándar internacional de calidad de software.

Un aspecto particular de GIATH que no ha sido analizado en estudios comparativos es que la privacidad y la seguridad de la información están claramente tratadas desde su diseño. Porque el

Tabla 13. Comparación de GIATH con estudios previos en criterios clave (tipo de aporte, contexto y validación).

Fuente: Los autores

Criterio	(Santacruz-Eraez & Poma-Japón, 2025)	(Sanchez-Galan & Castro Rodríguez, 2022)	(Rojano Guamaní et al., 2022)	Trabajo propuesto
Tipo de aporte	Prototipo de arquitectura de microservicios	Prototipo tecnológico	Aplicación móvil	Diseño arquitectónico y metodológico unificado
Contexto	Sistemas transaccionales financieros	Control administrativo de abastecimiento	Monitoreo agrícola	Gestión de vacaciones y permisos
Finalidad principal	Mejorar seguridad, escalabilidad e interoperabilidad transaccional	Automatizar control de suministro	Automatizar medición y seguimiento	Estructurar y controlar la gestión de solicitudes
Validación	Pruebas de seguridad, rendimiento, escalabilidad, integración y cumplimiento	Funcionamiento del prototipo	Métricas de precisión	Pruebas funcionales, rendimiento y encuesta ISO/IEC 25010
Alcance operativo	Financiero y transaccional	Específico	Específico	Administrativo e institucional
Aplicabilidad	Sistemas financieros y fintech	Sectorial	Sectorial	Transferible a organizaciones con procesos similares

Respecto al trabajo de Sanchez-Galan y Castro Rodríguez (2022), la semejanza está en la automatización de un trámite administrativo mediante una solución tecnológica. Su prototipo ciberfísico integra software, hardware, Arduino, códigos QR y un sistema experto para controlar el suministro de bebidas. GIATH, en cambio, no posee componente físico ni se ocupa de inventarios, sino de la gestión digital de requerimientos internos sometidos a reglas, roles y aprobaciones. A diferencia de la validación puramente funcional del prototipo de Sanchez-Galan, GIATH contrastó la calidad de su arquitectura mediante métricas estandarizadas de la norma ISO/IEC 25010, obteniendo evaluaciones de expertos superiores a 4.4/5 en todas las dimensiones, lo que otorga un respaldo metodológico más riguroso al artefacto.

En cuanto a Rojano Guamaní et al. (2022), coincide en el uso de una metodología ágil y pruebas de validación. Su aplicación, basada en Mobile-D y OpenCV, mide la longitud y diámetro del tallo de maíz, evaluando precisión con RMSE. GIATH no persigue precisión métrica sobre variables físicas, sino calidad funcional, rendimiento y aceptación por expertos. Frente al análisis de error físico de Rojano Guamaní, GIATH enfoca su éxito cuantitativo en el comportamiento del sistema bajo carga concurrente, demostrando un 0 % de tasa de errores bajo estrés y ofreciendo un análisis analítico de la latencia discriminada

sistema trata datos sensibles de servidores públicos (identidad, roles, documentos adjuntos y trazas completas del proceso de aprobación), el diseño se hizo con mecanismos alineados con la normativa ecuatoriana de protección de datos. La autenticación se implementó mediante el protocolo OIDC con tokens JWT validados criptográficamente en cada petición, mientras que el Control de Acceso Basado en Roles (RBAC), aplicado a través de Spring Security, restringe las operaciones a los perfiles autorizados. Las contraseñas se guardan con algoritmo Bcrypt y la información transaccional se persiste en SQL Server 2022 con soporte para cifrado de datos en reposo, los archivos adjuntos sensibles se gestionan mediante MongoDB GridFS, cuyo acceso está mediado exclusivamente por el backend. Adicionalmente, la bitácora inmutable registra cada acción (usuario, fecha, hora) sin posibilidad de modificación, garantizando la trazabilidad auditada de cada decisión. Estos mecanismos están alineados con los principios de responsabilidad proactiva y minimización de riesgos propios de los marcos normativos de protección de datos personales vigentes, aportan una dimensión de gobernanza de la información que resulta crítica en el contexto del sector público y que los sistemas comparados, orientados a dominios no institucionales, no requirieron abordar con el mismo nivel de exigencia.

De esta comparación, la contribución específica de GIATH



radica en la integración de un motor de reglas parametrizable, una bitácora inmutable y una arquitectura hexagonal basada en microservicios para administrar vacaciones, permisos y licencias. Esta combinación no se encontró en la literatura revisada, donde las soluciones se orientan a sistemas financieros, control de suministros o monitoreo agrícola. En GIATH, las reglas sobre saldos, cruce de turnos, requisitos documentales, estados del trámite y permisos por rol se gestionan fuera de la interfaz de usuario y de la infraestructura de persistencia, lo que dota al sistema de flexibilidad normativa y auditabilidad.

El sistema fue también validado a través de una estrategia de evaluación formal que comprendió pruebas funcionales de caja negra, simulaciones de rendimiento y un juicio experto basado en la norma ISO/IEC 25010. Esto prueba la viabilidad técnica de la solución y su capacidad para manejar reglas del negocio institucional antes de un potencial despliegue en producción. Por ello, GIATH no solo atiende el caso específico de la ISE, sino que se configura como un modelo tecnológico transferible a otras instituciones que necesiten controlar, validar y auditar procesos de gestión interna análogos.

Sin embargo, los resultados deben ser interpretados considerando que la evaluación se realizó en un ambiente controlado. Se anticipa que futuras investigaciones puedan basarse en evaluaciones longitudinales para capturar el impacto organizacional del sistema, su desempeño bajo condiciones reales de concurrencia, la disminución de errores administrativos y su integración con otros sistemas institucionales, como nómina, gestión documental u otros sistemas relacionados a la planificación del talento humano.

4. Conclusiones

Este estudio presenta GIATH, un sistema informático diseñado para digitalizar la gestión de vacaciones y permisos en la administración pública, permitiendo la transición de un flujo operativo manual hacia un entorno automatizado, auditable y alineado a la normativa de la Ley Orgánica del Servicio Público (LOSEP). Para su fundamentación se adoptó un enfoque metodológico y tecnológico integrado que unifica el modelado estructural de procesos (As-Is/To-Be) y los ciclos de desarrollo iterativos del marco ágil Extreme Programming (XP) con una arquitectura moderna basada en microservicios desacoplados y el patrón hexagonal. Este acoplamiento metodológico permitió traducir las reglas institucionales en componentes de software independientes (frontend en Angular/TypeScript, gateway con Traefik, backend en Java 21/Spring Boot, bases de datos SQL Server 2022 y MongoDB), ofreciendo condiciones favorables

para la escalabilidad horizontal y una separación efectiva de responsabilidades, si bien se requieren pruebas adicionales en entornos productivos para confirmar su escalabilidad plena.

Las pruebas realizadas en el entorno experimental (hasta 350 usuarios concurrentes en ambiente local controlado) evidencian que la solución alcanza los objetivos de funcionalidad, rendimiento y usabilidad definidos por el estándar ISO/IEC 25010, con resultados que confirman la aplicación consistente de las reglas de negocio y la estabilidad del sistema bajo las condiciones de carga evaluadas.

Los resultados cuantitativos indican que la arquitectura de GIATH aplica las reglas de negocio de manera consistente en todos los escenarios evaluados. El test funcional mostró un registro exitoso de solicitudes válidas (HTTP 201) y bloqueo de entradas erróneas (HTTP 400), asegurando integridad y trazabilidad en cada transacción. Las simulaciones de rendimiento revelaron que el sistema puede sostener un throughput de hasta 95.3 req/s, con tiempos promedio que oscilan entre 110 ms (con 20 usuarios) y 3200 ms (con 350 usuarios), sin registrar fallos (tasa de error 0 %). El incremento de latencia observado a partir de 70 usuarios (472 ms) y con cargas mayores es técnicamente razonable e identifica el umbral idóneo para el monitoreo y escalado en entornos de producción.

Estos resultados son relevantes ya que demuestran que un sistema basado en una arquitectura hexagonal y microservicios puede gestionar exitosamente el proceso de vacaciones y permisos en un entorno digital. GIATH separa la lógica de negocio (dominio) de las capas de persistencia y presentación, facilitando la evolución futura del software, y la parametrización de reglas permite adaptarse a cambios normativos sin modificar el código. Asimismo, el modelo desarrollado es transferible a otras instituciones con procesos administrativos análogos, como validación de permisos, aprobaciones jerárquicas y control de saldos.

En cuanto a las limitaciones, debe considerarse que las pruebas se realizaron en un entorno local y controlado; por tanto, los resultados reflejan el comportamiento del sistema durante la validación técnica, mas no su desempeño en una operación institucional continua. Para mitigar esto, la robustez del artefacto fue evaluada por un panel de 22 profesionales expertos del área de tecnologías de la información e ingeniería de software, quienes participaron en la revisión del sistema. Los resultados de esta evaluación bajo el estándar ISO/IEC 25010 arrojaron medias superiores a 4.4/5 en todas las dimensiones, concentrando las valoraciones entre “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo”, con un 100 % de conformidad para el control de acceso por roles (P10), 90,9 % para la claridad de la interfaz (P8) y 81,8 % para la

facilidad de registro y prevención de errores (P6 y P7).

A partir de estos hallazgos, se plantea como trabajo futuro evaluar GIATH en escenarios reales de uso tras su despliegue institucional, medir su efecto en los tiempos de atención, en la reducción de errores operativos y en la satisfacción del personal, así como analizar su comportamiento bajo cargas mayores de tráfico. También se considera pertinente estudiar su interoperabilidad con sistemas institucionales core como nómina, planificación de talento humano o gestión documental, con el fin de ampliar su alcance dentro de un ecosistema digital integrado. No obstante, es preciso reconocer una limitación metodológica: la evaluación basada en la norma ISO/IEC 25010 se aplicó exclusivamente a profesionales de TI, no a los usuarios finales del área de Talento Humano. En consecuencia, las valoraciones de usabilidad y pertinencia funcional reflejan únicamente la perspectiva técnica, la cual podría diferir de la experiencia cotidiana de los servidores públicos. Para mitigar esta limitación durante el desarrollo, se integraron a dos ingenieros delegados por el departamento de Talento Humano como parte del principio de participación continua del cliente (XP), quienes verificaron el funcionamiento del sistema en cada iteración.

Agradecimientos

Agradecemos a la ISE por facilitar el desarrollo de la investigación y al personal participante por su colaboración durante el levantamiento de información. Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a nuestros tutores por el acompañamiento académico y técnico brindado, y a nuestras familias por su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Contribución de los autores

Britney Paulette Tenecela Tocto: Redacción, Investigación, Metodología y Software. **Kevin Joel Zuñiga Iñiguez:** Redacción, Investigación, Metodología y Software. **Bertha Eugenia Mazon-Olivo:** Validación, Redacción, revisión y edición del artículo. **Damar Alejandra Taylor Vivanco:** Dirección de desarrollo práctico.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Alarcón Quinapanta, C., & Hernández Junco, V. (2024). Modelos de Gestión de Talento Humano. Análisis Crítico: Human Talent Management Models. *Critical Analysis. REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, 11(1), 1-17. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.111.847>
- Bautista-Villegas, E. (2022). Metodologías ágiles XP y Scrum,

empleadas para el desarrollo de páginas web, bajo MVC, con lenguaje PHP y framework Laravel. *Revista Amazonía Digital*, 1(1), e168. <https://doi.org/10.55873/rad.v1i1.168>

- Bedolla Solano, J. J., Miranda Esteban, A., Bedolla Solano, R., & Castellanos Meza, C. (2026). Diseño y validación de instrumento para evaluar un modelo automatizado de sostenibilidad ambiental como estrategia de calidad científica y sostenible. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 16(32), e1039. <https://doi.org/10.23913/ride.v16i32.2833>
- Bosco, G., D'Amore, R., Sciarrone, A., & Barile, S. (2024). Managerial and Organizational Implications Arising from the Implementation of Blockchain Technology in Supply Chains: An AS-IS and To-Be Analysis. *Administrative Sciences*, 14(6), 120. <https://doi.org/10.3390/admsci14060120>
- Caciano Arroyo, M. E., Vasquez Cabrera, A. F., Santos Fernández, J. P., Boy Chavil, L. E., & Córdova Otero, J. L. (2024). Sistema Web para mejorar la gestión comercial y de talento humano utilizando la metodología Scrum. *Innovation and Software*, 5(1), 125-140. <https://doi.org/10.48168/innosoft.s15.a147>
- Cañizares Larco, H. F., Camacho Castillo, J. D., Castillo Camacho, T. A., & Canchignia Vasco, A. J. (2025). Desarrollo de una aplicación web para la gestión integral de la salud física y nutrición en adultos mayores en el centro gerontológico Guano. *Tesla Revista Científica*, 5(2), e492. <https://doi.org/10.55204/trc.v5i2.e492>
- Cárdenas-Gutiérrez, J. A., Barrientos-Monsalve, E. J., & Molina-Salazar, L. (2022). Arquitectura de Software para el desarrollo de herramienta Tecnológica de Costos, Presupuestos y Programación de obra. *I+D Revista de Investigaciones*, 17(1), 85-95. <https://doi.org/10.33304/revinv.v17n1-2022007>
- Carvajal-Pérez, A. L. (2021). Gestión Actual del talento humano: Contexto universitario. *Revista Nacional de Administración*, 12(2), e3914. <https://doi.org/10.22458/rna.v12i2.3914>
- Celis Crisostomo, M. A., Hernández López, F. M., Cárdenas Magaña, J. A., & Vega Negrete, E. (2025). Implementación de microservicios en proyectos de IoT con Arduino. *Ingenius*, (34), 9-19. <https://doi.org/10.17163/ings.n34.2025.01>
- Cortés Rojas, H. F. (2024). Uso de la norma ISO 25010 para establecer requerimientos de calidad en el diseño de un prototipo tecnológico educativo basado en realidad aumentada para la enseñanza de programación básica en estudiantes de educación media. *Arandu UTIC*, 11(2), 2603-2621. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.452>



- Durán Delgado, J. E., & Rojas Sánchez, H. A. (2023). Sistema de gestión del talento como medio de optimización del rendimiento de cada empleado. *Polo del Conocimiento*, 8(3), 485-495. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i3.5314>
- Espinoza Beltrán, V., & Cachipundo Vásquez, M. V. (2024). El Sistema Integrado de Administración del Talento Humano, un enfoque en el Sector Público Ecuatoriano. *PODIUM*, (45), 33-52. <https://doi.org/10.31095/podium.2024.45.3>
- Ferreira, A., Salvadorinho, J., & Teixeira, L. (2026). Enhancing recruitment process for early-graduate employees in business consulting: A BPMN case study with AI-driven To-Be solution. *Procedia Computer Science*, 7th International Conference on Industry of the Future and Smart Manufacturing (former International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing), 277, 1983-1991. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.02.236>
- Juma Alba, A. P., Pusda Aguilera, A. R., & Alvarez Varona, F. (2024). Gestión del talento humano: Aplicativo web para el análisis del desempeño laboral. *Revista Científica Dejando Huellas*, (2), 63-76. <https://doi.org/10.65100/recidh/12>
- Ley Orgánica de Servicio Público, LOSEP. (2010, octubre 6). *LEXIS*. <https://www.lexis.com.ec/biblioteca/losep>
- Manggaberani, A. A., & Darlis, A. M. (2024). The effectiveness of Google Forms in assessing and evaluating online learning outcomes: Meta-analysis study. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 5(10), 5328-5337. <https://doi.org/10.59141/jist.v5i10.5305>
- Merchán-Narváez, N. J., Palma-Peralta, E. E., & Poma-Japón, D. X. (2024). Comparación de metodologías ágiles para el desarrollo de software. *MQRInvestigar*, 8(1), 5052-5074. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.5052-5074>
- Muñoz Solórzano, S. D., Cadena Vinuesa, P. A., Suquillo Guijarro, E., & Pastrano Jimbo, S. A. (2024). Continuous Improvement of Process Management Considering the «AS - IS» and «TO - BE» Criteria. *International Journal of Religion*, 5(11), 7410-7419. <https://doi.org/10.61707/5bddxr35>
- Palate-Ayme, N. N., Ramírez-Coque, J. F., Espinosa-Pico, P. E., & Alfonso-González, I. (2024). Implementación y regulación sobre el uso de la inteligencia artificial en el sistema judicial [Implementation and regulation of the use of artificial intelligence in the judicial system]. *Verdad y Derecho*. *Revista Arbitrada de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 3(especial_Ambato), 176-182. <https://doi.org/10.62574/kqd4t363>
- Pambudi, A., & Apriandari, W. (2023). An Extreme Programming Approach for Instructor Performance Evaluation System Development. *Journal of Informatics Information System Software Engineering and Applications (INISTA)*, 5(2), 126-135. <https://doi.org/10.20895/inista.v5i2.1050>
- Papalkar, R. R., & Alvi, A. S. (2024). Enhancing IoT security: A Creative Swagger Optimization algorithm for DDOS defence. *Network: Computation in Neural Systems*, 1-39. <https://doi.org/10.1080/0954898X.2024.2443605>
- Pérez-Pacheco, Y., & Simón Castellano, P. (2025). La inteligencia artificial en los sistemas judiciales de América Latina: Una revisión sobre desafíos y oportunidades. *A&C - Revista de Derecho Administrativo & Constitucional*, 25(100), 95-129. <https://doi.org/10.21056/aec.v25i100.2027>
- Pilicita Garrido, A., Borja López, Y., & Gutiérrez Constante, G. (2020). Rendimiento de MariaDB y PostgreSQL. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(2), 09-16. <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i2.538>
- Pinargote Párraga, J. E., & Pico Macías, M. E. (2023). Modelo de Gestión de Talento Humano como factor del desarrollo en centros de educación superior: Revisión bibliográfica. *RECIMUNDO*, 7(2), 117-131. [https://doi.org/10.26820/recimundo/7.\(2\).jun.2023.117-131](https://doi.org/10.26820/recimundo/7.(2).jun.2023.117-131)
- Proaño Ponce, W. P., & Capurro Choez, R. E. (2023). Gestión administrativa y el talento humano: Empresa pública de Agua Potable y Alcantarillado, Cantón Jipijapa. *Ciencia y Desarrollo*, 26(3), 65-73. <https://doi.org/10.21503/cyd.v26i3.2492>
- Quiñónez Rentería, M. A., & Segarra Jaime, H. P. (2025). La digitalización documental y su incidencia en la eficiencia de procesos administrativos de la cooperativa de ahorro y crédito grupo número tres limitada.: Document digitization and its impact on the efficiency of administrative processes at the savings and credit cooperative group number three limited. *Revista Científica Multidisciplinaria G-nerando*, 6(1), 6414-6437. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v6i1.710>
- Rodríguez, B., & Cedeño, D. (2023). Diseño e implementación de una arquitectura de microservicios orientada a trabajar con transacciones distribuidas. *I+D Tecnológico*, 19(1), 113-118. <https://doi.org/10.33412/idt.v19.1.3783>

Rojano Guamaní, V. J., Jaramillo Tenezaca, G. L., Cantuña Flores, K. S. C., Sandoval Ruilova, G. A., & Bengochea Guevara, J. M. (2022). Desarrollo de una aplicación móvil para el monitoreo de la fenometría vegetativa del maíz amarillo, en la sierra central ecuatoriana. *Informática y Sistemas*, 6(1), 71-77. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v6i1.4447>

Sanchez-Galan, J., & Castro Rodríguez, A. A. (2022). Desarrollo de un prototipo de sistema ciber-físico para el control administrativo del suministro de bebidas y refrescos: Development of a Expert System and a Prototype of a Cyber-physical System for the Administrative Control of the Supply of Beverages and Soft Drinks. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 6(2), 23-31. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v6i2.4777>

Santacruz-Erreaez, L. F., & Poma-Japón, D. X. (2025). Prototipo de Arquitectura de Microservicios para Sistemas Transaccionales Financieros con Keycloak. *MQRInvestigar*, 9(1), e189-e189. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e189>

Shrivastava, A., Jaggi, I., Katoch, N., Gupta, D., & Gupta, S. (2021). A Systematic Review on Extreme Programming. *Journal of Physics: Conference Series*, 1969(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1969/1/012046>

Wang, L. (2023). Innovation of Administrative Management System of Universities Based on Cloud Computing. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1), 1-16. <https://doi.org/10.2478/amns.2023.2.01495>





Análisis de Vulnerabilidades en Sistemas Web Públicos de Ecuador bajo OWASP API Security Top 10:2023: Un Caso de Estudio

Vulnerability Analysis in Public Web Systems of Ecuador under OWASP API Security Top 10:2023: A Case Study

Resumen

La creciente digitalización de los servicios del Estado ecuatoriano expone una superficie de ataque cuya postura de seguridad apenas ha sido evaluada empíricamente en la literatura académica. Este estudio analiza las vulnerabilidades identificables en nueve sitios web del sector público ecuatoriano, basándose en el marco de referencia OWASP API Security Top 10: 2023. En Python 3.12, se ha implementado una herramienta destinada a realizar análisis pasivos y no intrusivos de encabezados HTTP, cookies, configuraciones TLS, código fuente HTML accesible públicamente, así como archivos estándar como robots.txt y security.txt, y puntos finales de API de acceso público. Esta metodología no requiere pruebas de penetración activas, inyección de cargas ni acceso a recursos autenticados, por lo que se lleva a cabo dentro de los límites establecidos por el marco legal correspondiente, en particular el Artículo 232 del Código Orgánico Integral Penal (COIP) del Ecuador. Se identificaron 101 hallazgos, clasificados en cinco categorías según el marco OWASP. La categoría de configuraciones de seguridad incorrectas (API8:2023) constituye el 69,3 % de los resultados, mientras que los hallazgos de severidad alta representan el 20,8 % del total. Nueve portales carecían de los encabezados de seguridad necesarios, y ocho presentaron cookies con flags de seguridad incompletas. Los hallazgos ofrecen evidencia empírica replicable de deficiencias sistémicas en el fortalecimiento del sector público en Ecuador, indicando que intervenciones de bajo costo y alto impacto podrían formalizarse como requisitos mínimos en todos los portales gubernamentales.

Palabras clave: OWASP; seguridad web; portales públicos; análisis pasivo; vulnerabilidades web.

Abstract

The growing digitalization of Ecuadorian state services exposes an attack surface whose security posture has barely been empirically evaluated in academic literature. This study analyzes identifiable vulnerabilities in nine Ecuadorian public sector websites, based on the OWASP API Security Top 10: 2023 framework. We implemented a Python 3.12 tool to perform a passive, non-intrusive analysis of HTTP headers, cookies, TLS configurations, publicly accessible HTML source code, standard files such as robots.txt and security.txt, and publicly accessible API endpoints. Because this methodology requires no active penetration testing, payload injection, or access to authenticated resources, it remains within the boundaries set by the applicable legal framework, specifically Article 232 of Ecuador's Comprehensive Organic Criminal Code (COIP). A total of 101 findings were identified and classified into five OWASP categories. Security Misconfiguration (API8:2023) accounted for 69.3% of the results, and high-severity findings represented 20.8% of the total. Nine portals lacked the necessary security headers, and eight presented cookies with incomplete security flags. The findings provide replicable empirical evidence of systemic hardening deficiencies in Ecuador's public sector, indicating that low-cost, high-impact interventions could be formalized as minimum requirements across all government portals.

Keywords: OWASP; web security; public portals; passive analysis; web vulnerabilities.

Autores

***Jaime Rubén Borja Ulloa**¹

✉ jborjau@mag.gob.ec



Rodrigo Cadena Martínez²

✉ rodrigo.cadena@unade.edu.mx



¹Universidad Americana de Europa (UNADE), Facultad de Informática, Ecuador, Quito.

²Universidad Americana de Europa (UNADE), Departamento de Informática, México, Cancún.

*Autor para correspondencia

Cómo citar el artículo:

Borja Ulloa, J.R. & Cadena Martínez, R. (2026). Análisis de Vulnerabilidades en Sistemas Web Públicos de Ecuador bajo OWASP API Security Top 10:2023: Un Caso de Estudio. *Informática y Sistemas*, 10(1), 98–109. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v10i1.8463>

Enviado: 26/05/2026

Aceptado: 29/06/2026

Publicado: 30/06/2026





1. Introducción

La adopción de servicios de gobierno electrónico en Ecuador ha crecido de manera sostenida durante la última década. La plataforma central Gob.ec agrupa varios miles de trámites en línea de instituciones del Estado central, los gobiernos autónomos descentralizados y las entidades de la función ejecutiva. La digitalización abarca procesos que manejan datos personales sensibles, información tributaria, registros vehiculares, datos biométricos y registros académicos. Esta expansión, deseable desde la óptica de eficiencia y cobertura, también amplía la superficie de ataque disponible para actores maliciosos.

La preocupación por la seguridad de los portales gubernamentales no es nueva ni es exclusiva del contexto ecuatoriano. Awoleye et al. (2014) documentaron en un estudio empírico sobre 64 portales gubernamentales nigerianos que aproximadamente un tercio era susceptible a inyección de SQL o cross-site scripting, mientras que dos tercios presentaban enlaces rotos y casi la mitad transmitía credenciales sin cifrar. Weissbacher et al. (2014) realizaron un seguimiento longitudinal de la adopción de Content-Security-Policy en el Alexa Top 1M y mostraron que existe una brecha sostenida entre la velocidad de adopción de cabeceras de seguridad básicas y la de mecanismos más complejos como CSP, cuyo despliegue en modo enforcement era minúsculo. Calzavara et al. (2017) revisaron de manera exhaustiva el panorama de ataques contra sesiones web y concluyeron que la gestión inadecuada de cookies sigue siendo el principal vector de compromiso en aplicaciones modernas.

En el contexto latinoamericano, la transformación digital del Estado ha avanzado más rápido que las capacidades técnicas para asegurarla. Flor-Unda et al. (2023) identificaron como factores predominantes la baja conciencia de ciberseguridad, la ausencia de estándares y el uso de software desactualizado, mientras que Catota et al. (2019) documentaron brechas específicas en la formación profesional y el desarrollo institucional del Ecuador. Pellegrino et al. (2015) muestran que incluso las herramientas avanzadas de análisis dinámico tienen un alcance limitado cuando la instalación carece de controles de seguridad básicos, un requisito previo para que cualquier programa de evaluación sea efectivo y de alto impacto en organizaciones gubernamentales con presupuestos y personal técnico limitados.

En 2023, el Open Web Application Security Project (OWASP) lanzó su actualización API Security Top 10, que resume las amenazas más graves a las interfaces de programación de aplicaciones. Aunque la plataforma se diseñó originalmente para API, sus categorías, especialmente API8:2023 (seguridad mal configurada) y API2:2023 (autenticación rota), aún se aplican a cualquier sistema basado en web que proporcione puntos

finales HTTP, administre sesiones de usuarios o maneje datos confidenciales. En general, la utilidad del marco de evaluación del portal en línea ha quedado demostrada en varios estudios empíricos del sector público en países en desarrollo, donde los patrones de vulnerabilidad identificados son similares a pesar de las diferencias contextuales (Awoleye et al., 2014).

Dentro del contexto de Ecuador, los estudios existentes han analizado los aspectos de gobernanza y gestión de la ciberseguridad organizacional. Cuzme et al. (2018) documentaron las vulnerabilidades estructurales del sector público ecuatoriano ante estos incidentes y diseñaron un sistema de gestión de incidentes utilizando los marcos de trabajo ITIL y MAGERIT. Navia y Zambrano-Romero (2021) identificaron una herramienta de prueba para la seguridad de redes de datos técnicas y observaron que aproximadamente el 80% de los ataques pueden mitigarse mediante controles de seguridad fundamentales. El marco legal, junto con datos técnicos reproducibles, ayuda a formular opciones distintas para fortalecer la seguridad. Sin embargo, según el mejor conocimiento del autor, no existe un informe empírico sobre el estado actual de las cabeceras HTTP, cookies, TLS y archivos estándares en el portal de intercambio del gobierno ecuatoriano, que haya sido documentado en una referencia internacional como OWASP.

Esta brecha técnica se inscribe en un marco de gobernanza de la ciberseguridad aún en consolidación. Ecuador cuenta con una Política de Ciberseguridad (Acuerdo Ministerial 006-2021) y con la Estrategia Nacional de Ciberseguridad 2022-2025, aprobada por el Comité Nacional de Ciberseguridad y coordinada por el MINTEL (MINTEL, 2022). La respuesta a incidentes se articula a través del EcuCERT, adscrito a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL); sin embargo, su mandato se circunscribe a los operadores de telecomunicaciones y no abarca de forma integral la red de servicios gubernamentales, una limitación reconocida en la propia Estrategia Nacional. A esta arquitectura se suma la Autoridad de Protección de Datos Personales creada por la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales. La ausencia de visibilidad sistemática sobre la configuración de seguridad de los servicios del Estado, señalada como debilidad en la Estrategia, es precisamente el vacío empírico que este estudio busca documentar.

El objetivo de este estudio es abordar la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los patrones de vulnerabilidades en los sistemas presentados por los portales web del sector público en Ecuador al ser evaluados en relación con el OWASP API Security Top 10:2023? A partir de la evidencia empírica internacional sobre portales gubernamentales (Awoleye et al., 2014; Buchanan et al., 2018), el estudio contrasta tres hipótesis operativas

independientes. H1: más del 50 % de los hallazgos se concentrará en la categoría de configuración insegura (API8:2023). H2: la mayoría de las cookies de sesión presentará flags de seguridad incompletas, por ausencia de Secure, HttpOnly o SameSite. H3: la adopción de cabeceras HTTP de seguridad será deficiente en la totalidad o la mayoría de los sistemas evaluados. Estas hipótesis se contrastan de forma explícita en la sección 3. El objetivo principal es evaluar la seguridad de una muestra representativa de portales en línea del Estado ecuatoriano mediante la determinación de los niveles de atributos críticos de rendimiento, los rangos de severidad observados y las características de posibles vectores de ataque. Como objetivos específicos se establecen: (i) construir una herramienta automatizada de análisis pasivo bajo OWASP API Security Top 10:2023; (ii) aplicarla sobre nueve portales web del sector público ecuatoriano; y (iii) caracterizar los hallazgos en función de severidad, categoría OWASP, vector de ataque, escenario concreto e impacto. El aporte específico del trabajo es la primera caracterización empírica y reproducible de la postura de hardening de portales del Estado ecuatoriano bajo un marco internacional, en un dominio donde la literatura previa ha sido predominantemente normativa.

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño del estudio

El estudio fue diseñado mediante un método de caso transversal y descriptivo, centrado en las plataformas en línea del sector público ecuatoriano que brindan servicios a la ciudadanía. Los datos se recolectaron en mayo de 2026 desde una conexión residencial en Quito (Pichincha). Los portales no aplican restricciones de acceso por ubicación geográfica dentro del Ecuador, por lo que el lugar de recolección no condiciona los resultados ni influyó en los criterios de exclusión aplicados (véase sección 2.2). El diseño metodológico adapta el trabajo de Awoloye et al. (2014) al contexto ecuatoriano.

La elección del OWASP API Security Top 10:2023 responde a tres consideraciones técnicas y se adopta reconociendo de forma explícita su solapamiento parcial con el OWASP Top 10 para aplicaciones web (2021). Primero, los portales analizados no son aplicaciones puramente presentacionales: exponen puntos finales HTTP que gestionan sesiones y transmiten datos personales, y al menos uno referencia de forma explícita un endpoint REST de integración en su código público (módulo 6, véase la sección 3.5). Segundo, para los hallazgos de cabeceras HTTP, cookies y TLS, la categoría API8:2023 (Security Misconfiguration) es conceptualmente equivalente a la categoría A05:2021 del marco web; elegir uno u otro no altera la sustancia de los hallazgos, sino la taxonomía con la que se etiquetan. Se opta por el marco API porque ofrece, para esta superficie concreta, una correspondencia más directa entre cada control verificado y su categoría, y porque alinea la línea base con la arquitectura API-first hacia la que evolucionan los servicios de gobierno electrónico. Tercero, el marco web no se descarta como referencia, pero buena parte de

sus categorías solo son verificables con pruebas activas o acceso autenticado, condiciones que esta auditoría excluye por diseño. En síntesis, el marco API se emplea como lente de clasificación coherente y orientada al futuro, sin que ello implique que las debilidades detectadas sean exclusivas de arquitecturas API.

2.2. Selección de la muestra

Los portales se seleccionaron mediante muestreo intencional. Los criterios de inclusión fueron: (i) dominio .gob.ec del Estado central o de entidades autónomas; (ii) oferta de servicios transaccionales o de consulta a la ciudadanía; (iii) flujos que manejan datos personales o financieros. Se excluyeron los portales meramente informativos sin interacción del usuario y los sistemas que devolvieron códigos 5xx o no respondieron dentro del tiempo de espera configurado. De los 15 candidatos evaluados inicialmente, seis no superaron ese último criterio y fueron descartados. Estos seis portales, pertenecientes a cuatro instituciones del gobierno central, devolvieron códigos 5xx o superaron el tiempo de espera durante toda la ventana de medición. Su exclusión obedece a la imposibilidad de obtener respuestas HTTP estables para el análisis pasivo y no a una valoración de su postura de seguridad, ya que durante una medición puntual esos códigos suelen responder a geobloqueo, balanceo de carga o mantenimiento. No obstante, dado que un portal persistentemente indisponible podría reflejar también deficiencias operativas, su omisión introduce un posible sesgo de supervivencia que se discute en la sección 3.8.

Tabla 1. Portales del sector público ecuatoriano analizados en el estudio.

Fuente: Los autores, a partir del directorio Gob.ec.

Nº	Sistema	URL
1	Servicio de Rentas Internas (SRI) - Servicios en Línea	https://srienlinea.sri.gob.ec/
2	Registro Civil - Portal Ciudadano	https://apps.registrocivil.gob.ec/
3	Sistema Oficial de Contratación Pública (SERCOP)	https://www.compraspublicas.gob.ec/
4	IESS - Gestión de Afiliados	https://app.iess.gob.ec/
5	Ministerio de Educación	https://educacion.gob.ec/
6	SENESCYT - Consulta de Títulos	https://www.senescyt.gob.ec/
7	ANT - Consulta de Licencias y Citaciones	https://consultaweb.ant.gob.ec/PortalWEB/
8	ANT - Sistema Virtual de Turnos	https://consultaweb.ant.gob.ec/SVT/
9	CNE - Consulta de Lugar de Votación	https://lugarvotacion.cne.gob.ec/

La muestra abarca siete instituciones del gobierno central ecuatoriano, que representan sectores de significativa importancia: tributación (SRI), Registro Civil, compras públicas (SERCOP),



seguridad social (IESS), educación básica y superior (Ministerio de Educación, SENESCYT), movilidad (ANT) y participación democrática (CNE). Los nueve portales analizados en conjunto atienden a millones de ciudadanos ecuatorianos, administran datos personales, financieros y biométricos, y representan infraestructura crítica del Estado. Desde una perspectiva técnica, la muestra presenta una heterogeneidad significativa, al abarcar sistemas con arquitecturas diversas, como portales informativos que ofrecen servicios transaccionales, sistemas de consulta ciudadana y plataformas para la gestión de turnos. Esta variedad posibilita la identificación de patrones de vulnerabilidad en distintos contextos de implementación.

2.3. Tipo de análisis y consideraciones éticas

Se aplicó análisis pasivo, entendido como la inspección de información que cualquier visitante regular del portal puede observar sin necesidad de credenciales, sin inyección de cargas maliciosas y sin enumeración por fuerza bruta. Esta delimitación cumple un doble propósito: hace el estudio reproducible por terceros sin riesgo legal ni operativo, y relaciona esto con el Artículo 232 del Código Orgánico Integral Penal (COIP) de Ecuador, que sanciona el acceso no autorizado a sistemas informáticos en los que se vulneran las medidas de seguridad con intención maliciosa. Ninguna de estas condiciones se aplica a una auditoría que simplemente lee respuestas HTTP estándar. La metodología también sigue las recomendaciones de divulgación responsable en el RFC 9116 (Foudil & Shafranovich, 2022).

El análisis pasivo es suficiente para lograr el objetivo previsto porque los errores de configuración que se investigan (encabezados, cookies, TLS y archivos de estándares) aparecen en la respuesta HTTP estándar sin requerir interacción de autenticación o inyección de carga útil. Las vulnerabilidades que requieren pruebas activas están fuera del alcance y se consideran limitaciones en la Sección 3.8.

Dado que el análisis se centra únicamente en la información pública que las instituciones ponen a disposición de la población en general, no fue requerido el consentimiento explícito de las instituciones examinadas. Toda la información procesada en este estudio puede ser observada por cualquier ciudadano usando un navegador estándar y herramientas de línea de comandos como cURL. Esta posición es coherente con el enfoque metodológico utilizado en estudios previos sobre portales gubernamentales en otros países (Awoleye et al., 2014).

2.4. Herramienta desarrollada

Se construyó una herramienta de auditoría en Python 3.12 que automatiza la inspección de los portales mediante ocho módulos independientes (Tabla 2). El código fuente fue puesto

a disposición en un repositorio de acceso abierto bajo la licencia MIT con el fin de asegurar la reproducibilidad. Las dependencias técnicas incluyen: requests versión 2.31 para realizar solicitudes HTTP, BeautifulSoup4 versión 4.12 para el análisis de HTML, el módulo estándar ssl para la validación de certificados, así como pandas versión 2.0 junto con openpyxl versión 3.1 para la creación de informes en formato Excel. El diseño modular responde a las críticas de Doupé et al. (2010) a los escáneres tradicionales: cada módulo entrega hallazgos rastreables hasta el fragmento específico de la respuesta HTTP que los origina, en contraposición a un veredicto global no reproducible.

```
# Catálogo de cabeceras de seguridad
# Cada entrada mapea una cabecera al riesgo OWASP correspondiente. La idea es
# que el reporte no diga solo "Falta tal cabecera", sino que clasifique el
# hallazgo en una categoría reconocible y explique qué puede ocasionar
# (escenario concreto + impacto). Eso es lo que guía la revisión académica.
# Ampliar el catálogo es solo agregar una entrada nueva al diccionario,
# sin tocar la lógica del script.

CABECERAS_OBLIGATORIAS = {
  "Strict-Transport-Security": {
    "descripcion": "Obliga al navegador a usar siempre HTTPS para este dominio",
    "owasp": "AP18:2023 - Security Misconfiguration",
    "severidad": "ALTO",
    "referencia": "RFC 6797",
    "vector_ataque": "Man-in-the-Middle (MITM) por SSL stripping",
    "recomendacion": "Strict-Transport-Security: max-age=31536000; IncludeSubDomains; preload",
    "escenario": "Un usuario en una red WiFi pública escribe el dominio en el navegador. La primera petición sale por HTTP plano antes de redirigirse a HTTPS. Un atacante en la misma red intercepta esa petición y mantiene al usuario en HTTP. Sin HTTPS guardado, el navegador no protesta.",
    "impacto": "Captura de credenciales en texto plano (usuario, contraseña, tokens, datos personales). El usuario no detecta el ataque.",
  },
  "Content-Security-Policy": {
    "X-Content-Type-Options": {
      "frame-options": {
        "referrer-policy": {
          "permissions-policy": {
            "cross-origin-opener-policy": {
              "cross-origin-resource-policy": {
                "cache-control": {

```

Figura 1. Estructura del catálogo CABECERAS_OBLIGATORIAS con clasificación OWASP, severidad, impacto y escenario de ataque. Fuente: Los autores.

```
Estas cabeceras NO deberían estar presentes: revelan información técnica que
# ayuda al atacante a buscar exploits dirigidos. Si un servidor muestra
# Apache/2.4.29", el atacante va directo a buscar CVEs de esa versión.

CABECERAS_QUE_FILTRAN = {
  "Server": {
    "descripcion": "Revela el software y a veces la versión del servidor web",
    "owasp": "AP18:2023 - Security Misconfiguration",
    "severidad": "MEDIO",
    "vector_ataque": "Reconocimiento dirigido (fingerprinting)",
    "recomendacion": "El atacante lee la cabecera Server, identifica versión exacta (ej: 'Apache/2.4.29') y consulta bases de CVEs públicas para esa versión. Si hay un exploit conocido sin parchear, lo usa directamente.",
    "impacto": "Reduce el tiempo de explotación; el atacante no enumera vulnerabilidades a ciegas, va directo a las que aplican al stack expuesto.",
  },
  "X-Powered-By": {
    "descripcion": "Revela el lenguaje o framework de backend (PHP, Express, etc.)",
    "owasp": "AP18:2023 - Security Misconfiguration",
    "severidad": "MEDIO",
    "vector_ataque": "Reconocimiento dirigido (fingerprinting)",
    "recomendacion": "Cabeceras como 'X-Powered-By: PHP/5.6.40' confirman lenguaje y versión. El atacante busca CVEs específicos de esa versión y prepara payloads adaptados al runtime.",
    "impacto": "Permite ataques específicos al stack en lugar de exploración a ciegas. PHP 5.x sin soporte desde 2018 es un blanco frecuente.",
  },
  "X-AspNet-Version": {
    "descripcion": "Revela la versión exacta de ASP.NET",
    "owasp": "AP18:2023 - Security Misconfiguration",
    "severidad": "ALTO",
    "vector_ataque": "Explotación dirigida a versión específica",
    "recomendacion": "Conocer versión exacta de ASP.NET permite al atacante identificar vectores como deserialización insegura (ViewState), Padding Oracle (CVE-2018-3132) o exploits de WCF, según corresponda a la versión.",
    "impacto": "Acceso a CVEs históricos no parcheados; ASP.NET tiene historial de vulnerabilidades críticas en versiones antiguas.",
  },

```

Figura 2. Catálogo CABECERAS_QUE_FILTRAN con clasificación de cabeceras que revelan información técnica del servidor y su impacto en el reconocimiento del atacante. Fuente: Los autores.

Tabla 2. Módulos de análisis pasivo y categorías OWASP asociadas.

Fuente: Los autores, con base en OWASP Foundation API Security Top 10:2023.

Nº	Módulo	Verificación realizada	Categoría OWASP
1	Cabeceras HTTP	Presencia de HSTS, CSP, X-Frame-Options, COOP, CORP y supresión de cabeceras que filtran versiones; control de cacheo de respuestas con datos sensibles (Cache-Control)	API8:2023 / API3:2023
2	Cookies	Validación de flags Secure, HttpOnly, SameSite y nombres reveladores de tecnología	API2:2023
3	CORS	Detección de Access-Control-Allow-Origin permisivo combinado con credenciales habilitadas	API8:2023
4	TLS/SSL	Versión negociada, vigencia del certificado, emisor y cipher suite	API8:2023
5	HTML público	Meta generator, comentarios sospechosos, formularios sin HTTPS, autocomplete en passwords, mixed content	API8 / API2
6	Endpoints API	Detección por expresiones regulares de rutas /api/v*, /graphql, /swagger, /openapi.json	API9:2023
7	Archivos estandarizados	robots.txt, sitemap.xml, .well-known/security.txt (RFC 9116)	API10:2023
8	Redirecciones	Cadenas largas y saltos por HTTP plano dentro de la cadena	API8:2023

2.5. Procedimiento de auditoría

La unidad de análisis es el hallazgo: una debilidad concreta en un sistema concreto. Si la ausencia de HSTS aparece en dos portales, son dos hallazgos, uno por portal. Dentro de un mismo portal, dos cabeceras ausentes solo cuentan como hallazgos distintos si corresponden a controles diferentes, cada uno con su propia categoría OWASP, severidad y recomendación de mitigación. Con este criterio se construyen los recuentos de las Figuras 3 a 8 y de la Tabla 4, y coincide con los dieciséis atributos que la herramienta registra por cada hallazgo.

La herramienta ejecuta los ocho módulos sobre cada portal de forma secuencial. Cada módulo opera de manera independiente: si un módulo falla por una respuesta atípica, el resto continúa, lo que evita la pérdida de toda la auditoría por un fallo aislado. Para cada hallazgo se registran dieciséis atributos: sistema afectado, URL, fecha, código HTTP, categoría OWASP, tipo de detección, elemento específico, valor observado, gravedad, descripción técnica, vectores de ataque, escenarios de uso específicos,

impacto, recomendaciones de mitigación y referencias regulatorias. Este nivel de detalle es intencional: convierte cada punto en una unidad de cita directa en la discusión, en lugar de un punto agregado imposible de rastrear. La aproximación se inspira en las críticas de Doupé et al. (2010) sobre los escáneres de caja negra automatizados, que tienden a producir reportes voluminosos sin aportar trazabilidad por hallazgo.

2.6. Esquema de severidad

La severidad de cada hallazgo se asignó siguiendo un criterio cualitativo basado en el potencial daño descrito por OWASP, con cuatro niveles: Crítico (compromiso inmediato de confidencialidad o integridad), Alto (vector explotable con consecuencias graves bajo condiciones realistas), Medio (debilidad explotable bajo condiciones específicas) y Bajo (filtración de información o desviación de buenas prácticas sin impacto directo). Se construyó un puntaje de riesgo R agregado por sistema mediante la Ecuación (1):

$$R = \sum_i (s_i \times p_i) \quad (1)$$

En la Ecuación (1), s_i representa el peso de severidad del hallazgo i , asignado según cuatro niveles: Crítico = 4, Alto = 3, Medio = 2 y Bajo = 1; mientras que p_i toma el valor 1 si el hallazgo está presente en el sistema evaluado y 0 en caso contrario. El nivel Crítico se incluye en la escala por completitud metodológica, aunque en la muestra analizada no se registraron hallazgos de esa categoría, dado que todos los portales contaban con cifrado TLS válido y certificados vigentes. Esta función genera un puntaje acumulado que permite comparar la postura relativa de seguridad entre sistemas. El esquema es deliberadamente simple frente a alternativas como CVSS porque busca expresar la severidad observable sin pretender estimar impacto comercial, atributo que solo el operador del sistema puede valorar adecuadamente.

El índice R es un indicador ordinal: sirve para comparar sistemas entre sí, no para estimar un riesgo absoluto. La suma ponderada asume aditividad por simplicidad operativa, pero algunos hallazgos se refuerzan entre sí y la suma no lo refleja. La ausencia conjunta de HSTS y de la flag Secure en cookies, por ejemplo, facilita los ataques de SSL stripping más de lo que cualquiera de las dos por separado lo haría. Esta limitación se asume de forma deliberada. R ordena la postura relativa de los portales con un criterio transparente y reproducible; no sustituye un análisis de riesgo formal.

2.7. Validación cruzada de la herramienta

Dado que la herramienta es de desarrollo propio, se hizo una validación manual cruzada sobre una submuestra de 25 hallazgos, el 24,8 % del total, repartida entre las cinco categorías OWASP detectadas (Tabla 3). De los 25, 18 coincidieron exactamente con lo que había reportado la herramienta. Los 4 casos sin coincidencia se explican por dos causas distintas. En tres (Cache-Control en SRI y SENESCYT, X-Content-Type-Options en SENESCYT) la cabecera que en mayo de 2026 se reportó ausente apareció presente al verificar en junio: más que un error de detección, esto

apunta a un cambio de configuración del servidor en ese mes. El cuarto, el endpoint /rest/conadisservicio del Registro Civil, no se reprodujo porque la verificación solo revisó el HTML de la página raíz; el hallazgo original probablemente proviene de un recurso JavaScript enlazado que esta comprobación puntual no llegó a descargar. Los 3 casos indeterminados, dos cookies de sesión y un campo de contraseña, tampoco aparecieron en una solicitud anónima a la página de inicio. Eso es coherente con

elementos que solo se generan tras interacción de sesión o que se renderizan en el cliente, no con un fallo de la lógica de detección. En ningún caso de los siete la discrepancia se origina en la lógica determinista de los módulos pasivos: cuatro responden a cambios entre la fecha de auditoría y la de verificación o al alcance más estrecho de esta comprobación puntual, y tres a que esta verificación no abrió sesión ni ejecutó JavaScript.

Tabla 3. Resultado de la validación manual cruzada de una submuestra de hallazgos (n = 25, 24,8 % del total).
Fuente: Los autores, mediante verificación directa de las respuestas HTTP de los nueve portales (junio 2026).

Sistema	OWASP	Hallazgo verificado	Resultado	Observación
Registro Civil	API8	Filtración de información (X-Powered-By)	Coincide	-
SRI	API8	Cabecera ausente (Cross-Origin-Opener-Policy)	Coincide	-
Min. Educación	API8	Meta tag generator expone tecnología	Coincide	-
Min. Educación	API8	Cabecera ausente (Cross-Origin-Opener-Policy)	Coincide	-
IESS	API8	Filtración de stack vía cookie (JSESSIONID)	Indeterminado	La cookie no se generó en la solicitud anónima a la página de inicio; probablemente requiere interacción de sesión.
SERCOP	API8	Cabecera ausente (Referrer-Policy)	Coincide	-
Registro Civil	API8	Filtración de información (Server)	Coincide	-
SENESCYT	API8	Filtración de información (Server)	Coincide	-
ANT - Licencias	API8	Cabecera ausente (X-Content-Type-Options)	Coincide	-
ANT - Turnos	API8	Cabecera ausente (X-Frame-Options)	Coincide	-
Min. Educación	API8	Política CORS demasiado permisiva	Coincide	-
Registro Civil	API8	Cabecera ausente (Strict-Transport-Security)	Coincide	-
SENESCYT	API8	Cabecera ausente (X-Content-Type-Options)	No coincide	La cabecera está presente en la verificación (junio de 2026); posible cambio de configuración tras la auditoría de mayo de 2026.
ANT - Turnos	API2	Cookie con flags incompletas (JSESSIONID)	Coincide	-

SRI	API2	Cookie con flags incompletas (TS01ed1cee)	Coincide	-
SRI	API2	Cookie con flags incompletas (BIGipServerIntegra_statics)	Indeterminado	La cookie no apareció en la solicitud a la página de inicio; podría depender de una ruta o nodo de balanceo específico.
CNE	API2	Cookie con flags incompletas (visid_incap_3214960)	Coincide	-
Registro Civil	API2	Input password sin autocomplete=off	Indeterminado	No se encontró ningún campo de contraseña en el HTML estático de la página raíz; el formulario podría estar en otra ruta o generarse con JavaScript del lado del cliente.
ANT - Licencias	API2	Cookie con flags incompletas (X-Oracle-BMC-LBS-Route)	Coincide	-
SRI	API3	Cabecera ausente (Cache-Control)	No coincide	La cabecera está presente en la verificación; posible cambio de configuración tras la auditoría original.
SENESCYT	API3	Cabecera ausente (Cache-Control)	No coincide	La cabecera está presente en la verificación; posible cambio de configuración tras la auditoría original.
Registro Civil	API3	Cabecera ausente (Cache-Control)	Coincide	-
ANT - Turnos	API10	Falta canal de divulgación (security.txt)	Coincide	-
ANT - Licencias	API10	Falta canal de divulgación (security.txt)	Coincide	-
Registro Civil	API9	Endpoint API referenciado (/rest/conadiservicio)	No coincide	El patrón no apareció en el HTML de la página raíz; la verificación no inspeccionó los recursos JavaScript enlazados donde probablemente se origina el hallazgo.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización general de los hallazgos

La auditoría identificó 101 hallazgos distribuidos en los nueve portales analizados. Ninguno presentó hallazgos catalogados como Críticos en sentido estricto, lo que sugiere que los portales evaluados cuentan con cifrado TLS válido y certificados vigentes. Esta es una observación positiva: la infraestructura básica de cifrado en tránsito ha sido adoptada de manera generalizada. Sin embargo, sí se detectaron debilidades de severidad Alta

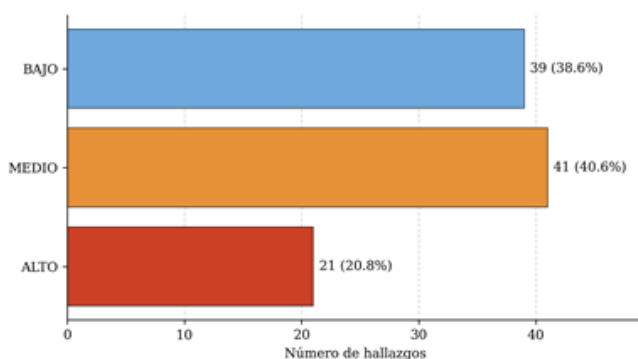


Figura 3. Distribución de hallazgos por severidad en la muestra (n = 101).

Fuente: Los autores.

que comprometen capas de defensa secundarias necesarias para un esquema de seguridad en profundidad. La distribución por severidad se muestra en la Figura 3.

De los 101 hallazgos, 21 (20,8 %) corresponden a severidad Alta, 41 (40,6 %) a Media y 39 (38,6 %) a Baja. La proporción de hallazgos Altos es significativa: indica que más de un quinto de las debilidades observadas en estos portales podrían explotarse bajo condiciones realistas con consecuencias relevantes para la confidencialidad o integridad de los datos ciudadanos. La distribución es similar a la reportada por Awoleye et al. (2014) en portales gubernamentales nigerianos, donde aproximadamente un cuarto de los hallazgos correspondía a categorías de alto riesgo.

3.2. Distribución por categoría OWASP

La distribución de hallazgos de OWASP API Security Top 10:2023 confirma un patrón sistemático en el cual la configuración insegura del servidor concentra la mayoría de los problemas detectados (Figura 4).

La categoría API8:2023 - Security Misconfiguration concentra 70 hallazgos (69,3 % del total). La segunda categoría más frecuente es API2:2023 - Broken Authentication, con 17 hallazgos (16,8 %), todos asociados a cookies de sesión sin las flags de seguridad apropiadas y a formularios que permiten autocompletado en

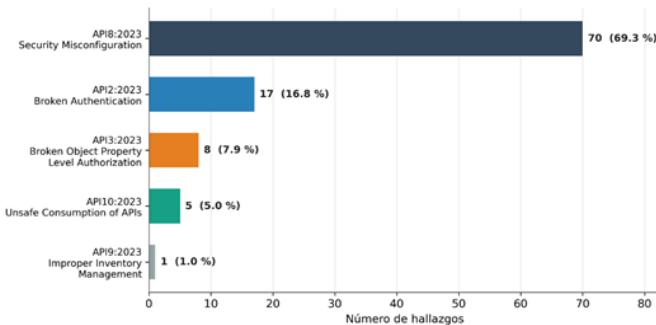


Figura 4. Distribución de los resultados según las categorías OWASP API Security Top 10:2023.

Fuente: Los autores.

campos de contraseña. Las categorías API3:2023 (Broken Object Property Level Authorization), API10:2023 (Unsafe Consumption of APIs) y API9:2023 (Improper Inventory Management) acumulan el 14 % restante. Esta distribución es consistente con los patrones reportados por Buchanan et al. (2018) y Calzavara et al. (2017): las vulnerabilidades de configuración del servidor y la gestión deficiente de cookies son las familias más persistentes en aplicaciones web modernas.

Para contrastar H1 de forma estadística, se aplicó una prueba binomial exacta de una cola sobre la proporción de hallazgos en API8:2023 (70 de 101) frente a la hipótesis nula de concentración aleatoria ($p = 0,50$). La proporción observada (69,3 %) es significativamente superior al 50 % postulado ($p < 0,001$; intervalo de confianza del 95 % de Clopper-Pearson: 59,3 %–78,1 %). Dado que el límite inferior del intervalo supera el umbral del 50 %, H1 se confirma con respaldo inferencial y no por la mera superación nominal del umbral.

3.3. Análisis comparativo entre portales

La distribución de hallazgos por sistema (Figura 5) muestra una variabilidad considerable. El portal con menor número de hallazgos es SERCOP (5 hallazgos), mientras que el Registro Civil presenta el mayor volumen (16 hallazgos). Esta variabilidad, dentro de instituciones que pertenecen al mismo sector y operan bajo regulaciones similares, resulta informativa por sí misma: sugiere que los déficits de hardening no se explican únicamente por restricciones presupuestales globales y es consistente con la influencia de decisiones técnicas específicas de cada equipo. El diseño del estudio no permite, sin embargo, descartar factores como presupuestos diferenciados, proveedores de implementación distintos o la antigüedad de cada sistema.

Aplicando la Ecuación (1) al conjunto de resultados produce una estimación de riesgo R para cada sistema (Tabla 4). Cuatro portales superan $R = 25$ y se concentran en las instituciones que

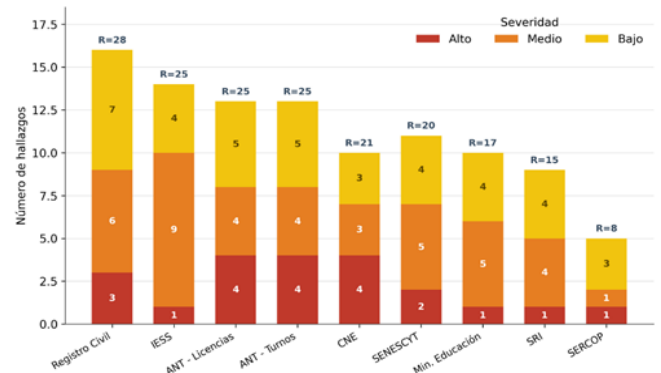


Figura 5. Distribución de hallazgos por sistema, segmentada por severidad.

Fuente: Los autores.

manejan datos personales identificables (cédula, dirección, datos vehiculares): los dos portales de la ANT, el portal del Registro Civil y el portal de afiliados del IESS. SERCOP, en cambio, presenta $R = 8$ a pesar de manejar también datos sensibles, lo que indica que es posible alcanzar una postura de hardening considerablemente mejor sin un costo desproporcionado.

Tabla 4. Puntaje de riesgo agregado R por sistema, ordenado de mayor a menor.

Fuente: Los autores. R = puntaje de riesgo agregado calculado mediante la Ecuación (1).

Sistema	Altos	Medios	Bajos	Total	R
Registro Civil - Portal Ciudadano	3	6	7	16	28
ANT - Consulta de Licencias y Citaciones	4	4	5	13	25
ANT - Sistema Virtual de Turnos	4	4	5	13	25
IESS - Gestión de Afiliados	1	9	4	14	25
CNE - Consulta de Lugar de Votación	4	3	3	10	21
SENESCYT - Consulta de Títulos	2	5	4	11	20
Ministerio de Educación	1	5	4	10	17
SRI - Servicios en Línea	1	4	4	9	15
SERCOP - Sistema Oficial de Contratación	1	1	3	5	8

3.4. Hallazgos predominantes

El tipo de hallazgo más frecuente fue “Cabecera de seguridad

ausente”, con 67 ocurrencias (66,3 % del total). Las cabeceras omitidas con más frecuencia fueron Content-Security-Policy (CSP), Permissions-Policy, Cross-Origin-Opener-Policy y Cross-Origin-Resource-Policy, ausentes en los nueve portales evaluados. La cabecera Strict-Transport-Security (HSTS), en cambio, está ausente en cuatro de los nueve portales (Registro Civil, los dos portales de la ANT y el CNE): en esos casos, aunque el sitio sirve contenido por HTTPS, no instruye al navegador para que rechace conexiones HTTP futuras al mismo dominio. La especificación HSTS (Hodges et al., 2012) fue diseñada precisamente para cerrar esa ventana de exposición; De los Santos y Torres (2018) mostraron además que, incluso cuando HSTS está implementado, ciertas malas prácticas impiden alcanzar la protección esperada. Su omisión en esos cuatro portales deja al usuario expuesto a ataques de SSL stripping en redes inalámbricas no confiables. La ausencia de Content-Security-Policy expone al sitio a XSS sin contención, problema cuya complejidad práctica fue caracterizada por Weichselbaum et al. (2016), quienes encontraron bypasses en el 94,72 % de las políticas CSP desplegadas en la web. El mapa de calor de la Figura 6 visualiza el puntaje de riesgo agregado por sistema y módulo de análisis, permitiendo identificar de forma rápida las combinaciones de mayor concentración de hallazgos.

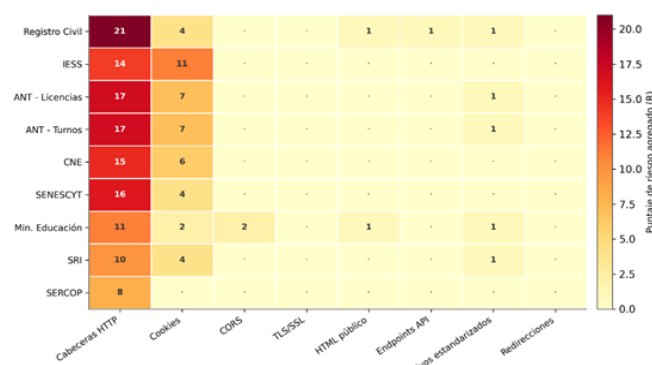


Figura 6. Mapa de calor del puntaje de riesgo agregado por sistema y módulo de análisis. Fuente: Los autores.

El segundo tipo más frecuente fue “Cookie con flags de seguridad incompletas” (16 ocurrencias), seguido por “Filtración de stack vía nombre de cookie” (5 ocurrencias). Las cookies con nombres reveladores como JSESSIONID, observadas en el Registro Civil, el IESS, SENESCYT y los dos portales de la ANT, anuncian al atacante el stack tecnológico subyacente, en todos los casos Java sobre contenedores tipo Tomcat o JBoss, sin que este tenga que enumerar versiones. Este tipo de información reduce el tiempo de reconocimiento de horas a segundos en una fase de pre-ataque y constituye un ejemplo claro del principio de minimización de información atacable que la literatura ha defendido durante décadas (Calzavara et al., 2017). En cuanto a la flag SameSite, ausente en la mayoría de cookies de sesión observadas, Compagna et al. (2021) mostraron que su despliegue correcto puede mitigar de forma significativa los ataques de Cross-Site Request Forgery,

aunque no constituye por sí solo una defensa completa.

3.5. Endpoints API detectados

El módulo 6 encontró un solo endpoint de integración en toda la muestra: /rest/conadisservicio/, visible en el código JavaScript público del portal del Registro Civil. Se clasificó como severidad Baja bajo API9:2023 (Improper Inventory Management): el endpoint no tiene documentación formal ni figura en ningún inventario público. En los otros ocho portales no apareció ninguna ruta /graphql, /swagger u /openapi.json accesible. La detección es pasiva, viene de leer el código y no de consultar el endpoint, así que no podemos decir si pide autenticación o no. Es poca evidencia, y la tratamos como tal. Confirma que al menos un portal de la muestra expone una superficie de integración programática, pero no alcanza para sostener que los nueve operan como APIs en sentido estricto. Por eso la elección del marco OWASP API se apoya en la equivalencia conceptual entre sus categorías y las del marco web para los controles auditados (sección 2.1), no en cuántos endpoints API aparecieron en la muestra.

3.6. Matriz de riesgo

La caracterización combinada de probabilidad e impacto se resume en la matriz de riesgo de la Figura 7, donde la probabilidad se aproxima por la frecuencia observada del tipo de hallazgo y el impacto corresponde a la severidad asignada según los criterios de la sección 2.6.

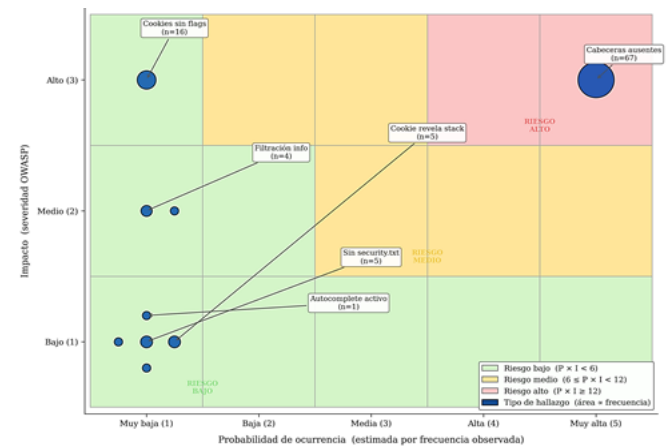


Figura 7. Matriz de riesgo de los principales tipos de hallazgo identificados. El área de los círculos es proporcional a la frecuencia observada del tipo de hallazgo. Fuente: Los autores.

La matriz muestra que los hallazgos relacionados con las cabeceras de seguridad faltantes son de alto riesgo (alta probabilidad y alto impacto), lo que justifica su prioridad en cualquier plan de remediación. Las cookies sin indicadores apropiados, aunque menos comunes, también se encuentran en el área de alto impacto porque comprometen directamente la integridad de la sesión del usuario. Los hallazgos de filtración de información y la ausencia de canales de divulgación responsable



se ubican en la zona de riesgo medio.

3.7. Discusión

Los hallazgos apuntan a una conclusión que tiene implicaciones tanto académicas como operativas. Que el 69,3% de los problemas se concentre en API8:2023 - Security Misconfiguration indica que la debilidad central de los portales públicos ecuatorianos no es técnicamente compleja: no se trata de cifrado insuficiente ni de funcionalidades expuestas, sino de configuraciones básicas del servidor que cualquier administrador puede aplicar en minutos. Su omisión sistemática confirma lo que Navia y Zambrano-Romero (2021) ya señalaban: hay una brecha entre el conocimiento técnico y su uso en el sector público.

Esa misma heterogeneidad de puntajes de riesgo agregado (Tabla 4) admite una lectura operativa: la coexistencia de sistemas con posturas de hardening dispares dentro del mismo sector abre la pregunta sobre los mecanismos de transferencia de buenas prácticas entre instituciones, más allá de los factores que el diseño no permite aislar (antigüedad del sistema, proveedor de implementación o presupuesto organizacional específico). Existen unidades técnicas dentro del Estado que ya han incorporado prácticas de hardening adecuadas, lo que da peso a esa posibilidad. A diferencia de la Figura 4, que organiza los hallazgos según la taxonomía OWASP, la Figura 8 los distribuye por módulo de análisis de la herramienta desarrollada, lo que permite identificar qué superficie técnica concentra mayor número de debilidades. Esta perspectiva complementaria confirma que los módulos de cabeceras HTTP y de cookies constituyen los vectores de exposición más frecuentes, con el 70,3% (71 hallazgos) y el 20,8% (21 hallazgos) del total respectivamente, resultado coherente con lo reportado por Buchanan et al. (2018) y Calzavara et al. (2017).

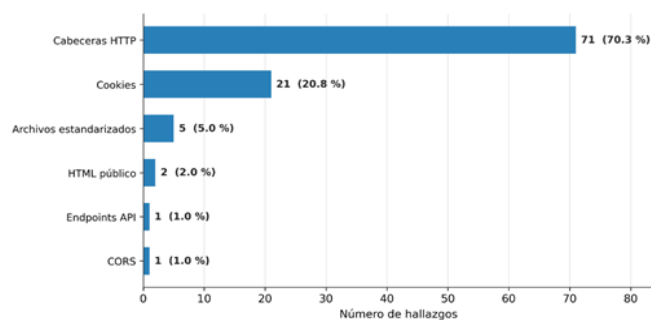


Figura 8. Porcentaje de hallazgos distribuido por módulo de análisis de la herramienta.

Fuente: Los autores.

Los resultados se alinean, además, con la literatura empírica internacional. Awoleye et al. (2014) reportaron en portales

gubernamentales nigerianos una concentración similar de hallazgos en configuraciones inseguras y autenticación débil, con porcentajes equiparables a los aquí observados pese a la distancia contextual. Buchanan et al. (2018), en un análisis sistemático de las implementaciones de encabezados de seguridad HTTP documentaron que una proporción muy baja de sitios implementó conjuntos de recomendaciones, una observación consistente con el patrón que encontraron: la mayoría de los portales evaluados no implementaron ni siquiera los encabezados más básicos, como HSTS o X-Content-Type-Options. Pellegrino et al. (2015) han demostrado que los escáneres automatizados tienen un alcance limitado cuando los sitios carecen de controles de seguridad básicos, lo que refuerza la utilidad de las auditorías pasivas específicas como la que se presenta aquí. La aportación específica de este estudio es la caracterización empírica del fenómeno en el sector público ecuatoriano, que hasta la fecha contaba con literatura predominantemente normativa (Cuzme et al., 2018; Navia & Zambrano-Romero, 2021).

Una observación adicional surge al comparar los puntajes de riesgo entre instituciones que comparten infraestructura. Los dos portales operados por la Agencia Nacional de Tránsito, el de Consulta de Licencias y el Sistema Virtual de Turnos, presentan exactamente el mismo puntaje ($R = 25$) y la misma distribución por severidad. Esta concordancia indica que ambos heredan la configuración básica del mismo servidor o del mismo tipo de implementación, lo que tiene las correspondientes consecuencias operativas: una intervención en la configuración básica reducirá los riesgos en ambos sistemas al mismo tiempo. En la muestra no se observó la situación opuesta, donde sería más costoso reparar portales con diferentes configuraciones dentro de la misma organización, lo que sugiere una oportunidad para aumentar la eficiencia para el sector. Análogamente, el contraste entre el portal del Ministerio de Educación ($R = 17$) y el de SENESCYT ($R = 20$), ambos del mismo dominio sectorial, sugiere que las decisiones técnicas se toman institución por institución y no por área de gobierno, lo que refuerza la pertinencia de mecanismos de coordinación sectorial.

3.8. Limitaciones del estudio

El estudio reconoce limitaciones que conviene explicitar. El análisis pasivo no detecta vulnerabilidades de capa de aplicación inyección SQL, cross-site scripting persistente e IDOR, que solo se manifiestan ante interacción autenticada o cargas dirigidas; los hallazgos reportados son, por tanto, un subconjunto del riesgo total. Los nueve portales constituyen una muestra intencional y los resultados no pueden generalizarse estadísticamente a todo el sistema de Internet estatal ecuatoriano, especialmente al sistema de gobiernos autónomos descentralizados, que no fue incluido.

Además, los resultados hacen referencia a una fecha concreta (mayo de 2026); la configuración del portal puede variar de una auditoría a otra, especialmente después de mejoras de seguridad posteriores. La replicación del estudio en periodos sucesivos permitiría caracterizar la evolución de la postura de seguridad y contrastarla con el calendario de despliegue de medidas de la Estrategia Nacional de Ciberseguridad.

De manera similar, los seis portales excluidos por indisponibilidad durante la ventana de medición no fueron caracterizados, lo que introduce un posible sesgo de supervivencia: la muestra final podría sobrerrepresentar sistemas con mayor estabilidad operativa y, plausiblemente, con mayor madurez técnica.

4. Conclusiones

La auditoría pasiva de nueve portales web del sector público ecuatoriano bajo el marco OWASP API Security Top 10:2023 identificó 101 hallazgos, de los cuales el 20,8 % corresponde a severidad Alta. La categoría API8:2023-Security Misconfiguration concentra el 69,3 % de los hallazgos, evidenciando un déficit transversal en prácticas de hardening que afecta a la totalidad de los sistemas evaluados. Ningún portal implementa el conjunto completo de cabeceras de seguridad recomendados por OWASP y ocho de los nueve portales presentan al menos una cookie con flags de seguridad incompletas. Las tres hipótesis operativas se confirmaron: la concentración en API8:2023 superó el 50 % de manera estadísticamente significativa ($H1, p < 0,001$), la mayoría de las cookies de sesión presentó flags incompletas ($H2$) y la adopción de cabeceras de seguridad fue deficiente en la totalidad de los sistemas ($H3$). En conjunto, existen patrones sistémicos de vulnerabilidades en el sector público ecuatoriano que pueden detectarse sin pruebas invasivas y son comparables a los reportados en estudios empíricos sobre portales gubernamentales de otros contextos.

Las consecuencias para los gestores públicos son directas. Implementar cabeceras de seguridad como HSTS con políticas de precarga, políticas estrictas de seguridad de contenido y configuraciones de cookies apropiadas (Secure, HttpOnly, SameSite) es un conjunto de medidas efectivas y económicas que deben formalizarse como requisito mínimo en todo portal gubernamental. La publicación de archivos `/.well-known/security.txt` bajo RFC 9116 facilitará la divulgación responsable de información por canales oficiales, algo que actualmente falta en seis de los nueve portales. Por el contrario, una herramienta desarrollada y publicada en un repositorio abierto puede servir como una herramienta de monitoreo continuo que se integra con los procesos de implementación para detectar regresiones de configuración antes de que se conviertan en problemas.

Las direcciones de investigación futuras incluyen ampliar el análisis a portales gubernamentales centralizados y descentralizados, el uso adicional de pruebas activas con consentimiento institucional y la evaluación longitudinal del impacto de las actividades de endurecimiento después de revelar

responsablemente los resultados a las instituciones evaluadas. Establecer un observatorio público sobre la seguridad de los portales gubernamentales basado en métodos repetibles como el que aquí se presenta podría proporcionar evidencia continua para las decisiones de políticas públicas relacionadas con la ciberseguridad.

Además de sus aportes técnicos, este estudio también plantea interrogantes sobre el modelo de gobernanza de la seguridad informática en el estado de Ecuador. La uniformidad observada al abordar las brechas sugiere que las soluciones de las instituciones individuales no son suficientes: se necesita un mecanismo coordinado para distribuir plantillas de configuración, verificar su aceptación y publicar los resultados. La experiencia internacional indica que los observatorios independientes de seguridad y los programas de divulgación coordinada (Foudil & Shafranovich, 2022) son instrumentos efectivos para reducir la asimetría entre quien identifica un problema y quien tiene la responsabilidad de corregirlo. Adoptar instrumentos similares en Ecuador, alineados con el marco OWASP API Security Top 10:2023 y con las recomendaciones de la literatura empírica revisada, contribuiría a cerrar la brecha entre la legislación de protección de datos y la postura técnica real de los sistemas que los procesan.

Contribución de los autores

Jaime Rubén Borja Ulloa: Conceptualización, Metodología, Software, Investigación, Análisis formal, Redacción - borrador original del artículo. **Rodrigo Cadena Martínez:** Validación, Visualización, Revisión y edición del artículo, Supervisión.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Apéndice

A.1. Disponibilidad del código y datos

El código fuente de la herramienta de auditoría desarrollada para este estudio se encuentra disponible públicamente bajo licencia MIT en el repositorio: <https://github.com/rubenborja/passive-security-audit>. Los datos crudos generados durante la auditoría (formato JSON y reporte Excel con dieciséis columnas analíticas) se incluyen como material suplementario y permiten la replicación íntegra de los resultados aquí reportados.

A.2. Marco legal y ético del estudio

El estudio se enmarca en el Art. 232 del Código Orgánico Integral Penal del Ecuador, que tipifica el acceso no consentido a sistemas informáticos cuando media violación de medidas de seguridad y dolo. Ninguna de estas condiciones se configura en una auditoría pasiva que solo lee respuestas HTTP estándar. La



metodología se alinea, además, con los principios de divulgación responsable establecidos en RFC 9116 (Foudil & Shafranovich, 2022) y con las recomendaciones generales sobre divulgación coordinada de vulnerabilidades.

Referencias bibliográficas

- Awoleye, O. M., Ojuloge, B., & Ilori, M. O. (2014). Web application vulnerability assessment and policy direction towards a secure smart government. *Government Information Quarterly*, 31(S1), S118-S125. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2014.01.012>
- Buchanan, W. J., Helme, S., & Woodward, A. (2018). Analysis of the adoption of security headers in HTTP. *IET Information Security*, 12(2), 118-126. <https://doi.org/10.1049/iet-ifs.2016.0621>
- Calzavara, S., Focardi, R., Squarcina, M., & Tempesta, M. (2017). Surviving the web: A journey into web session security. *ACM Computing Surveys*, 50(1), 13:1-13:34. <https://doi.org/10.1145/3038923>
- Catota, F. E., Morgan, M. G., & Sicker, D. C. (2019). Cybersecurity education in a developing nation: The Ecuadorian environment. *Journal of Cybersecurity*, 5(1), tyz001. <https://doi.org/10.1093/cybsec/tyz001>
- Compagna, L., Jonker, H., Krochewski, J., Krumnow, B., & Sahin, M. (2021). A preliminary study on the adoption and effectiveness of SameSite cookies as a CSRF defence. En 2021 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW) (pp. 49-59). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EuroSPW54576.2021.00012>
- Cuzme, M., Pinargote, R., & Sabando, E. (2018). Plan de gestión de incidentes de seguridad informática mediante ITIL y MAGERIT. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 2(1), 24-30. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v2i1.1129>
- De los Santos, S., & Torres, J. (2018). Analysing HSTS and HPKP implementation in both browsers and servers. *IET Information Security*, 12(4), 275-284. <https://doi.org/10.1049/iet-ifs.2017.0030>
- Doupé, A., Cova, M., & Vigna, G. (2010). Why Johnny can't pentest: An analysis of black-box web vulnerability scanners. En C. Kreibich & M. Jahnke (Eds.), *Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment (DIMVA 2010)* (LNCS, Vol. 6201, pp. 111-131). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14215-4_7
- Flor-Unda, O., Simbaña, F., Larriva-Novo, X., Acuña, Á., Tipán, R., & Acosta-Vargas, P. (2023). A comprehensive analysis of the worst cybersecurity vulnerabilities in Latin America. *Informatics*, 10(3), 71. <https://doi.org/10.3390/informatics10030071>
- Foudil, E., & Shafranovich, Y. (2022). A file format to aid in security vulnerability disclosure (RFC 9116). *Internet Engineering Task Force*. <https://doi.org/10.17487/RFC9116>
- Hodges, J., Jackson, C., & Barth, A. (2012). HTTP Strict Transport Security (HSTS) (RFC 6797). *Internet Engineering Task Force*. <https://doi.org/10.17487/RFC6797>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL). (2022). *Estrategia Nacional de Ciberseguridad del Ecuador 2022-2025*. Gobierno del Ecuador. <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/ESTRATEGIA-NACIONAL-DE-CIBERSEGURIDAD-2022.pdf>
- Navia, M., & Zambrano-Romero, W. (2021). Instrumento para la auditoría técnica de seguridad informática en pequeños proveedores de Internet. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 5(2), 119-128. <https://doi.org/10.33936/isrtic.v5i2.3952>
- Pellegrino, G., Tschürtz, C., Bodden, E., & Rossow, C. (2015). jÄk: Using dynamic analysis to crawl and test modern web applications. En H. Bos, F. Monrose, & G. Blanc (Eds.), *Research in Attacks, Intrusions, and Defenses (RAID 2015)* (LNCS, Vol. 9404, pp. 295-316). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26362-5_14
- Weichselbaum, L., Spagnuolo, M., Lekies, S., & Janc, A. (2016). CSP is dead, long live CSP! On the insecurity of whitelists and the future of Content Security Policy. En *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 1376-1387). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2976749.2978363>
- Weissbacher, M., Lauinger, T., & Robertson, W. (2014). Why is CSP failing? Trends and challenges in CSP adoption. En A. Stavrou, H. Bos, & G. Portokalidis (Eds.), *Research in Attacks, Intrusions and Defenses (RAID 2014)* (LNCS, Vol. 8688, pp. 212-233). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11379-1_11