



ISSN: 3084-7907 (En línea)

Volumen 2, Número 1, Enero- Junio 2026

CISAI

INTERNATIONAL JOURNAL OF
COMPUTATIONAL INNOVATIONS,
INTELLIGENT SYSTEMS AND AI



TECNOLOGÍAS INTEGRADAS PARA LA
INNOVACIÓN DIGITAL



www.cisai.com.pe

CISAI

Presenta el Vol. 2, Núm. 1. Enero-Junio 2026. International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI. Publicación dedicada a estudios relacionados en áreas como sistemas de información, inteligencia artificial, sistemas inteligentes, ciencia de datos, NLP, computación en la nube, IoT, seguridad de la información, HCI e ingeniería de software. Asimismo, acoge estudios vinculados a las tecnologías de la información y comunicaciones y sus diversas aplicaciones.

EDITOR

Dr. Oscar Peña-Cáceres
Universidad Cesar Vallejo, Perú
Universitat de València, España
Editor Jefe

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Jorge Zavaleta
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil

Dr. Oscar Apolinario-Arzupe
Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador

Dr. Vinicio Changoluisa
Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador

Dra. Mónica Giuliano
Universidad Nacional del Oeste. Buenos Aires, Argentina

Mg. Henry Silva-Marchan
Universidad Nacional de Tumbes. Tumbes, Perú

Mg. Teresa Samaniego-Cobo
Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador

MIEMBRO HONORARIO PÓSTUMO

Dr. Manuel More-More
Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú

EQUIPO TÉCNICO

Mg. Elvis Garay Silupú
Administrador de la revista

Mg. Rudy Espinoza Nima
Gestor de Comunicación Científica

Ing. José Valverde Macalupú
Diseñador Gráfico y Diagramador

REVISORES

Nombres y Apellidos	Afiliación Institucional	País
Dra. Alma Delia Cuevas Rasgado	Universidad Autónoma del Estado de México	México
Dr. Raúl Alfredo Sánchez Ancajima	Universidad Nacional de Tumbes	Perú
Mg. Charles Miguel Pérez Espinoza	Universidad Agraria del Ecuador	Ecuador
Mg. Teobaldo Raúl Basurco Chambilla	Universidad Nacional del Altiplano - Puno	Perú
Dr. Enrique Ferruzola Gómez	Universidad Estatal de Milagro	Ecuador
Dr. Marcos Dario Aranda	Universidad Siglo 21/Universidad Nacional de Catamarca	Argentina
Dr. Darwin Ebert Aguilar Chuquizuta	Universidad Nacional de Tumbes	Perú
Dr. José Jaime Carriel	Universidad Politécnica Salesiana - UPS	Ecuador
Dr. Guido Humberto Cayo Cabrera	Universidad Nacional del Altiplano - Puno	Perú
Dr. Ernesto Díaz Kovalenko	Universidad Estatal de Milagro	Ecuador
Dr. Raúl Camacho Brinez	Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD	Colombia
Mg. Jorge Yáñez Palacios	Universidad de Guayaquil	Ecuador
Dr. Carlos Sánchez Pacheco	Universidad de Oriente	México
Mg. Gerardo Ortiz-Castro	Universidad Nacional de Tumbes	Perú
Mg. Luis Chavarría Zamora	Instituto Tecnológico de Costa Rica	Costa Rica
Dr. Vicente Becerra Sablón	Universida de São Francisco	Brasil
Dr. José Abel Alarcón Salvatierra	Universidad de Guayaquil	Ecuador
Dra. Laura Amavizca Valdez	Universidad Tecnológica del Sur de Sonora	México
Dra. Nuvia Beltran Robayo	Universidad Agraria del Ecuador	Ecuador
Mg. Jhon Barros Naranjo	Universidad Estatal de Milagro	Ecuador
Dr. Luis Baquero Rey	Universidad Central	Colombia
Dra. Alicia Esther Ares	Instituto de Materiales de Misiones, IMAM (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional de Misiones (UNaM))	Argentina
Dra. Paola Verónica Britos	Universidad Nacional de Rio Negro	Argentina
Dr. Víctor Saquicela Galarza	Universidad de Cuenca	Ecuador
Dra. Lina Patricia Zapata Molina	Universidad Politécnica Salesiana - UPS	Ecuador

CISAI

International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI

Volumen 2. Número 1.

Enero – Junio 2026

ISSN: 3084-7907 (En Línea)

Director:

Dr. Oscar Peña-Cáceres

Urb. Rinconada del Sol MZ E LT 4, Piura - Perú

La administración de CISAI se realiza a través de los siguientes parámetros:

La revista utiliza el sistema antiplagio académico



Los artículos cuentan con código de identificación (Digital Object Identifier)



El proceso editorial se gestiona a través del Open Journal System



Es una publicación de acceso abierto (Open Access) con licencia Creative Commons
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0



Los artículos de la presente edición pueden consultarse en:

www.cisai.com.pe

ÍNDICE

EDITORIAL	6
Oscar Peña-Cáceres	
MHEALTH COMO APROXIMACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL SEGUIMIENTO CONTINUO Y EL SOPORTE PSICOSOCIAL EN LA ATENCIÓN PRENATAL	7
Cinthia Patricia Oneill Kcomt Atoche	
EL ROL MEDIADOR DE LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN SISTEMAS DE MARKETING DIGITAL: EVIDENCIA EMPÍRICA DEL RETAIL DE MODA.....	26
Lexy Camila Escobar Medina, Serafín Osmar Peña Olaya, Ghenkis Ezcurra Zavaleta	
PLATAFORMAS DIGITALES DE APRENDIZAJE IMPULSADAS POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SU DESEMPEÑO EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR	48
Rolly Ramírez-Medina, Josue Zapata-Peña, Darwin Aguilar-Chuquizuta, Eneida Bastidas-Muñoz	
PROTOTIPO DE BALANZA AUTOMÁTICA PARA UN DESGRANADOR DE MAÍZ UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN.....	70
Nathaly Aspiazu-Sevillano, Charles Perez-Espinoza, Teresa Samaniego-Cobo	
CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN THE SMART HOME: A REVIEW	91
Enrique Ferruzola-Gomez, Nuvia Beltrán Robayo, María Barrera Rea, Jhon Barros Naranjo	

EDITORIAL

Querida comunidad científica:

La innovación digital ha dejado de ser una idea futura para convertirse en parte cotidiana de nuestra forma de vivir y trabajar. Hoy interpela directamente cómo aprendemos, producimos y cuidamos. Este Vol. 2, Núm. 1, denominado “Integrated Technologies for Digital Innovation” nace de una pregunta profundamente humana ¿para qué innovamos y a quién sirve realmente la tecnología? Las investigaciones reunidas, desarrolladas en Perú y Ecuador, dialogan con esa inquietud desde contextos reales y necesidades concretas. En cada artículo se percibe un esfuerzo por ir más allá de la eficiencia o la automatización, buscando que la tecnología tenga sentido, acompañe decisiones, reduzca desigualdades y aporte valor social. La innovación que aquí se presenta no es fría ni distante, sino situada, consciente de su impacto y comprometida con las personas que la experimentan.

La contribución centrada en mHealth y los sistemas de marketing digital revelan con claridad que toda transformación tecnológica pasa inevitablemente por la experiencia humana. El estudio sobre seguimiento prenatal mediante tecnologías móviles nos recuerda que detrás de cada indicador hay una madre, una familia y una historia que necesita cuidado, cercanía y apoyo emocional. La tecnología, en este caso, no reemplaza el vínculo humano, sino que lo extiende y lo fortalece. De manera similar, el análisis del rol mediador de la satisfacción del cliente en el marketing digital del retail de moda plantea una pregunta relevante ¿qué sentido tiene un sistema digital avanzado si no genera confianza ni bienestar en quienes lo utilizan? Ambos trabajos coinciden en una idea poderosa la tecnología solo cumple su propósito cuando es capaz de escuchar, adaptarse y generar experiencias significativas.

Las investigaciones vinculadas a la educación, la producción y la inteligencia artificial amplían esta reflexión desde otros escenarios igualmente sensibles. El estudio sobre plataformas de aprendizaje impulsadas por inteligencia artificial invita a pensar si estamos formando estudiantes más eficientes o personas con mayores oportunidades para comprender y transformar su entorno. El prototipo de balanza automática para un desgranador de maíz muestra cómo la innovación también puede nacer en espacios productivos tradicionales, donde cada mejora tecnológica impacta directamente en el trabajo cotidiano y en la dignidad del esfuerzo humano. Por tanto, la revisión sobre sistemas ciberfísicos en el hogar inteligente plantea preguntas clave sobre confianza, autonomía y control: ¿hasta dónde delegamos decisiones en sistemas inteligentes y cómo aseguramos que el ser humano siga siendo el eje central? Este número no entrega respuestas definitivas, pero sí propone una mirada crítica común que confirma que la innovación en entornos inteligentes solo tiene valor cuando se desarrolla con responsabilidad, transparencia y propósito.

Dr. Oscar Peña-Cáceres

Editor de International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI

<https://orcid.org/0000-0002-8159-7560>

editor@cisai.com.pe

MHEALTH COMO APROXIMACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL SEGUIMIENTO CONTINUO Y EL SOPORTE PSICOSOCIAL EN LA ATENCIÓN PRENATAL

MHEALTH AS A TECHNOLOGICAL APPROACH FOR CONTINUOUS MONITORING AND PSYCHOSOCIAL SUPPORT IN PRENATAL CARE

Cinthia Patricia Oneill Kcomt Atoche 

Universidad César Vallejo, Piura, 20000, Perú

*Autor de Correspondencia: ckcomt@ucvvirtual.edu.pe

Historial del artículo:

Recibido: 17.10.2025
Revisado: 10.11.2025
Aceptado: 17.12.2025
En línea: 15.01.2026

Palabras clave:

Telemedicina
Salud perinatal
Gestación
Bienestar emocional
Intervención digital

Keywords:

Telemedicine
Perinatal health
Pregnancy
Emotional well-being
Digital intervention

Cómo citar:

C. P. O. Kcomt Atoche, «mHealth como aproximación tecnológica para el seguimiento continuo y el soporte psicosocial en la atención prenatal», *International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI*, vol. 2, n.º 1, pp. 7–25, ene. 2026. doi: [10.64439/cisai.v2i1.18](https://doi.org/10.64439/cisai.v2i1.18)

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia [CC-BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



Resumen:

En contextos donde el acompañamiento psicosocial durante el embarazo presenta limitaciones en su continuidad y alcance, las soluciones mHealth se consolidan como alternativas viables para complementar la atención prenatal. Este estudio de tipo aplicado con enfoque cuantitativo tuvo como objetivo desarrollar y evaluar una aplicación móvil orientada al seguimiento y apoyo psicosocial de mujeres gestantes. La evaluación se desarrolló mediante un diseño pre-experimental con mediciones pre-test y post-test, considerando una muestra de 20 participantes, a quienes se aplicó un cuestionario para medir el nivel de satisfacción, relevancia de la información y capacidad de comprensión. Los resultados pre-test evidenciaron una aceptación limitada del acompañamiento psicosocial previo a la intervención, con niveles de satisfacción cercanos al 35 %, junto con elevados porcentajes de respuestas neutrales. Tras la implementación de la solución, se identificaron respuestas favorables entre 60 % y 80 % en satisfacción, hasta 65 % en la relevancia percibida de la información y valoraciones positivas en la capacidad de comprensión. Estos hallazgos confirman la viabilidad funcional de la propuesta y su efectividad como soporte digital para fortalecer el acompañamiento psicosocial durante el embarazo.

Abstract:

In contexts where psychosocial support during pregnancy is limited in terms of continuity and scope, mHealth solutions are establishing themselves as viable alternatives to complement prenatal care. This applied study with a quantitative approach aimed to develop and evaluate a mobile application designed to monitor and provide psychosocial support to pregnant women. The evaluation was conducted using a pre-experimental design with pre-test and post-test measurements, considering a sample of 20 participants, who were given a questionnaire to measure their level of satisfaction, the relevance of the information, and their ability to understand it. The pre-test results showed limited acceptance of psychosocial support prior to the intervention, with satisfaction levels close to 35%, along with high percentages of neutral responses. After the solution was implemented, favorable responses were identified between 60% and 80% in satisfaction, up to 65% in the perceived relevance of the information, and positive assessments in the ability to understand. These findings confirm the functional viability of the proposal and its effectiveness as digital support to strengthen psychosocial support during pregnancy.

I. INTRODUCCIÓN

La literatura contemporánea ha puesto de relieve, con creciente precisión, el efecto que ejercen las variables sociodemográficas sobre las mujeres gestantes, especialmente en países latinoamericanos como el Perú, donde persisten marcadas brechas de acceso a recursos económicos, sanitarios y educativos. Estas condiciones, especialmente presentes en varias regiones del país, generan un entorno que aumenta la ansiedad durante el embarazo, debido a la inestabilidad económica y al conocimiento limitado o incluso inexistente sobre los procesos gestacionales. En este contexto, se reconoce que el acompañamiento de la familia o de la pareja es fundamental para fortalecer la confianza, reducir la ansiedad y apoyar una adecuada gestión emocional [1].

En esta misma línea, el embarazo a temprana edad continúa representando uno de los desafíos más significativos para la sociedad peruana y para los profesionales de obstetricia y ginecología, considerando que aproximadamente el 28% de las adolescentes sexualmente activas (15–19 años) reportó al menos un embarazo en el periodo 2015–2019, según análisis de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar [2]. Esta problemática se observa de manera recurrente en centros de salud de distintas provincias, especialmente en contextos rurales e indígenas, donde se atiende de forma constante a adolescentes y mujeres jóvenes entre los 12 y 24 años, muchas de ellas con niveles educativos bajos y conocimientos insuficientes sobre la gestación, la anticoncepción y las complicaciones asociadas [3]. Como respuesta institucional, el Estado peruano ha establecido lineamientos para la implementación de la educación sexual integral en el sistema educativo, y se ha documentado que las adolescentes que no recibieron información formal sobre salud sexual presentan un riesgo significativamente mayor de embarazo temprano en comparación con aquellas que sí accedieron a este tipo de educación [4].

Las regiones de la costa norte del Perú, como Piura, registran tasas elevadas de gestaciones en jóvenes de 15 a 19 años, situándose entre las zonas con mayor incidencia a nivel nacional, después de Lima Metropolitana y de regiones amazónicas como Loreto, de acuerdo con análisis desagregados de nacimientos y encuestas nacionales [5]. Dentro de este contexto regional, reportes sanitarios han documentado la ocurrencia de embarazos en niñas menores de 14 años en provincias como Sullana, con cifras que alcanzan dobles dígitos en determinados periodos, situaciones que por su naturaleza implican violencia sexual y generan una profunda preocupación por sus repercusiones sociales y sanitarias [6]. A pesar de las campañas de Educación Sexual Integral implementadas en instituciones educativas peruanas, persisten factores externos entre ellos la pobreza, las normas de género y las brechas en la implementación de políticas públicas que continúan favoreciendo la ocurrencia de estos embarazos, situando a muchas menores frente a la maternidad sin una preparación psicológica adecuada. Esta realidad, evidencia altos niveles de vulnerabilidad emocional en madres adolescentes peruanas, refuerza la urgencia de consolidar el apoyo emocional como un componente relevante para la atención integral durante esta etapa particularmente vulnerable [7].

Este escenario se complejiza aún más cuando se examinan las múltiples razones que impiden que una gestante acceda oportunamente a los servicios de salud para realizar sus chequeos rutinarios. Entre estas razones se encuentran la distancia hacia los centros de salud, la falta de recursos económicos para cubrir el transporte o los gastos asociados a las consultas, la sobrecarga de responsabilidades domésticas, el temor o desconfianza hacia el personal sanitario y, en algunos casos, la ausencia de redes de apoyo que faciliten su movilidad. Estas dificultades representan un desafío constante para los profesionales de la salud, quienes deben adaptarse para asegurar un servicio de calidad pese a las limitaciones existentes. El reto se extiende a nivel nacional, pues muchos establecimientos carecen de infraestructura adecuada para atender de manera óptima a mujeres gestantes, mientras que algunos especialistas no aplican los valores éticos ni el trato respetuoso necesario para generar confianza y comodidad durante la atención. La convergencia de estos factores debilita los vínculos entre las gestantes y el personal de salud, dificulta el seguimiento adecuado del embarazo y profundiza las brechas de acceso a una atención prenatal continua,

especialmente en regiones donde los índices de embarazo adolescente e infantil revelan una problemática persistente.

En este contexto, la presente investigación se centra en analizar la situación de un centro de salud ubicado en el centro poblado Ignacio Escudero, en la provincia de Sullana (Perú), donde se identificaron factores estructurales, organizacionales y humanos que evidencian el descuido de las gestantes y la discontinuidad del cuidado durante su ciclo de embarazo. Este diagnóstico permitió comprender con mayor claridad los elementos que limitan el acceso a información, acompañamiento y seguimiento médico, particularmente en poblaciones vulnerables que carecen de recursos económicos o redes de apoyo familiar. A partir de esta realidad emergió la pregunta que orienta el estudio: ¿Cómo impacta el uso de un aplicativo móvil para el acompañamiento psicosocial en mujeres gestantes que no cuentan con apoyo o sustento económico?. Esta interrogante busca esclarecer el potencial de las tecnologías móviles como herramientas complementarias para fortalecer la atención prenatal en contextos donde las barreras sociales y estructurales son persistentes. Como respuesta a esta necesidad, el estudio propone un aplicativo móvil concebido para brindar un acompañamiento personalizado que facilite el seguimiento integral del embarazo. Desde esta perspectiva, la investigación se orienta a determinar el nivel de satisfacción de las gestantes respecto al acompañamiento psicosocial proporcionado, así como a evaluar el grado de utilidad del aplicativo y analizar los beneficios percibidos por las usuarias durante su utilización. Estos objetivos se articulan con el propósito de fortalecer la gestión del ciclo gestacional de adolescentes y mujeres gestantes mediante una herramienta tecnológica que integra funciones orientadas al monitoreo de controles médicos, la identificación de medicamentos prescritos, el acceso a sugerencias de alimentación balanceada y rutinas de ejercicio, el control del peso y la provisión de recomendaciones específicas sobre cuidados esenciales.

1.1 Trabajos relacionados

En este apartado se presenta una revisión de los trabajos relacionados que abordan, desde distintos enfoques, el acompañamiento durante el embarazo, las barreras en el acceso a los servicios de salud y el uso de soluciones tecnológicas orientadas al apoyo psicosocial de mujeres gestantes. En este sentido, Barber y Masters-Awatere [8] propusieron una solución móvil denominada “Positively Pregnant”, una aplicación de e-salud que integra componentes interactivos basados en estrategias de afrontamiento y psicoeducación con el objetivo de apoyar el bienestar social y emocional durante el embarazo. Los resultados proporcionados evidencian un buen nivel de satisfacción por parte de las usuarias, así como un descenso importante de la percepción del estrés en el estudio piloto. El presente aporte tiene importancia para la investigación, ya que validó la factibilidad de las intervenciones digitales de forma de acompañar los procesos de intervención psicosocial en el embarazo. De todas formas, en este caso dicha evaluación se realizó a corto plazo, y no incluyó ni un esquema de seguimiento clínico a largo plazo, ni mecanismos de articulación formal con los servicios de salud mental, los cuales el presente estudio aborda de manera dinámica para complementar mediante un proceso de acompañamiento más integrado en el seguimiento gestacional.

De manera similar, Doherty et al. [9] desarrollaron “BrightSelf”, una aplicación móvil orientada al autorreporte del bienestar psicológico durante el embarazo, sustentada en un proceso de diseño cualitativo que involucró a gestantes y profesionales de la salud para identificar necesidades, preocupaciones relacionadas con la confidencialidad y formas adecuadas de presentar preguntas sensibles sobre el estado emocional. Este trabajo es pertinente en tanto evidencia la aceptación de las aplicaciones móviles como herramientas para el monitoreo del bienestar psicosocial en mujeres embarazadas. No obstante, su enfoque se limita al tamizaje y a la reflexión personal, sin incorporar módulos estructurados de intervención ni un acompañamiento psicosocial continuo. En contraste, la presente investigación amplía este enfoque al proponer una herramienta móvil que no solo

monitorea, sino que también acompaña de manera sistemática el proceso gestacional, integrando seguimiento y orientación psicosocial adaptados a contextos de vulnerabilidad.

Por su parte, Davis et al. [10] confirmaron sus expectativas sobre la disposición y el grado de compromiso de las mujeres durante el parto con programas digitales de entrenamiento de conocimiento respecto al bienestar emocional a partir de prácticas de la contemplación a partir de un estudio mixto y la aplicación del marco CAPE para evaluar la conexión, la asistencia, la participación y la puesta en práctica de las intervenciones. Los resultados del trabajo concluyeron que a las participantes les gustaron especialmente los formatos cortos, los recordatorios frecuentes y la accesibilidad mediante el móvil. No obstante, también se evidenciaron barreras de adherencia y la necesidad de adaptar características de personalización y mecanismos de estimulación o “nudges” que favorezcan el uso a largo plazo de estos tipos de herramientas. Este estudio proporciona criterios empíricos vinculados con la presente investigación que son relevantes para el diseño de aplicaciones dirigidas a la intervención psicosocial durante la gestación, aunque se basa en programas formativos sobre cuestiones concretas y no lleva a cabo un enfoque integrado del seguimiento gestacional y la gestión de la información clínica básica. Por el contrario, la propuesta presentada incorpora estos aspectos de usabilidad y compromiso en el marco de una solución que da sentido a la intervención psicosocial en el seguimiento del embarazo y que está orientada a lograr que las mujeres críen hábitos que permitan mantener la continuidad del uso durante el ciclo gestacional.

Varma et al. [11] comprobaron las percepciones de mujeres y proveedores de salud en relación a una aplicación de monitoreo de salud mental perinatal, observando de esta manera una supuesta buena aceptación del cribado digital de síntomas de depresión y ansiedad. Con todo, también apuntan las preocupaciones vinculadas al peso del uso y a la privacidad de los datos, hallazgos que confirman que las soluciones móviles pueden ser una vía de acceso a la ayuda psicosocial pero que también evidencian el hecho de que el monitoreo no basta si no va acompañado de mecanismos claros de retroalimentación, de un acompañamiento continuo o de una articulación con los profesionales de la salud. En este sentido, el presente estudio se diferencia al incorporar el monitoreo del bienestar psicosocial dentro de una propuesta que enfatiza el acompañamiento personalizado y el seguimiento gestacional, orientados a que la información recogida se traduzca en apoyo efectivo, especialmente en contextos donde el acceso a servicios especializados es limitado.

Del análisis de la literatura revisada se desprende que, si bien existen desarrollos tecnológicos orientados al bienestar materno, estos se concentran mayoritariamente en el seguimiento médico y fisiológico del embarazo, priorizando el control prenatal y el monitoreo de indicadores clínicos. En consecuencia, se identifican limitaciones persistentes en el abordaje integral del componente psicosocial, especialmente en contextos donde el acceso a atención emocional, educativa y de acompañamiento continuo es reducido. Frente a este escenario, se remarca que, la presente investigación se diferencia al proponer un aplicativo móvil que incorpora el acompañamiento psicosocial como eje central del seguimiento gestacional, integrando herramientas interactivas, recomendaciones personalizadas y contenidos educativos orientados a fortalecer el bienestar emocional y mental de las gestantes a lo largo de todo el embarazo. De este modo, el estudio amplía el alcance de las propuestas existentes al ofrecer una solución tecnológica accesible y adaptada a las necesidades reales de poblaciones en situación de vulnerabilidad, sentando las bases para el desarrollo metodológico que se presenta en la sección siguiente.

II. MÉTODOS

La sección actual presenta la metodología que se utilizó en el estudio y que explica en forma ordenada el diseño de la investigación, la población objeto de estudio, el desarrollo de la propuesta en el enfoque metodológico Kanban y los procedimientos de evaluación y contrastación de la hipótesis planteada. Cada una de estas etapas se articula de forma coherente con el flujo metodológico representado en la Figura 1, garantizando la trazabilidad entre el planteamiento del estudio, la intervención propuesta y el análisis de los resultados obtenidos.



Figura 1. Etapas metodológicas

2.1 Diseño del estudio y variables

La investigación fue de tipo aplicada y de enfoque cuantitativo, dado que estuvo orientada a abordar la problemática previamente identificada mediante el diseño e implementación de un aplicativo móvil destinado al acompañamiento psicosocial virtual durante el embarazo. La intervención fue desarrollada y evaluada en un centro de atención primaria de salud ubicado en Ignacio Escudero, Sullana (Perú), con el propósito de generar beneficios directos en las mujeres gestantes que reciben atención en dicho establecimiento, en concordancia con los principios de la investigación aplicada [12]. En esta misma línea, se empleó un diseño pre-experimental para evaluar los cambios asociados a la implementación del aplicativo móvil. En particular, se analizó el efecto de la variable independiente (aplicativo móvil) sobre la variable dependiente (acompañamiento psicosocial) mediante la comparación de mediciones pre-test y post-test en un mismo grupo de participantes. Este diseño fue seleccionado por su pertinencia para la evaluación de intervenciones en contextos de salud aplicada donde no resulta factible la aleatorización o la inclusión de grupos de control [13] [14]. La variable independiente estuvo constituida por el aplicativo móvil, concebido como la intervención principal del estudio y diseñado para apoyar el seguimiento del embarazo y el acompañamiento psicosocial mediante el acceso continuo a información y recursos a través de dispositivos móviles [15]. En correspondencia con este planteamiento, la variable dependiente fue el acompañamiento psicosocial, conceptualizado como la interacción entre los recursos sociales disponibles y las necesidades emocionales de las participantes en su entorno [16], cuya variación se evaluó en función del uso del aplicativo propuesto.

2.2 Población, muestra y análisis de datos

La población de estudio estuvo conformada por mujeres gestantes que acuden a un centro de atención primaria de salud en Ignacio Escudero, Sullana (Perú). Se consideró una población de tipo finita y se seleccionó una muestra de 20 participantes mediante muestreo aleatorio simple. Los criterios de inclusión contemplaron a mujeres gestantes que asistían a los servicios de planificación familiar y que contaban con un dispositivo móvil y acceso a Internet. Se excluyó a aquellas participantes que no requerían acompañamiento virtual o que residían en zonas con conectividad limitada [17] [18]. La recolección de datos se llevó a cabo mediante un cuestionario compuesto por 15 ítems con respuestas estructuradas en escala de Likert, aplicado en dos momentos temporales

correspondientes a las fases de pre-test y post-test. Este instrumento permitió evaluar de manera sistemática los cambios percibidos por las participantes antes y después de la implementación del aplicativo móvil.

El análisis de los datos se efectuó utilizando estadística descriptiva e inferencial con el fin de examinar los cambios en la satisfacción y en la percepción del acompañamiento psicosocial tras la implementación del aplicativo móvil. El procesamiento de la información se llevó a cabo mediante el software SPSS y la plataforma Google Colab, lo que permitió una comparación objetiva de los resultados obtenidos antes y después de la intervención [19].

2.3 Propuesta de desarrollo basada en la metodología Kanban

El desarrollo del aplicativo móvil para el acompañamiento psicosocial de mujeres gestantes se llevó a cabo mediante la metodología Kanban, seleccionada por su enfoque ágil y su capacidad para gestionar de manera visual y flexible el flujo de trabajo. Esta metodología permitió organizar las actividades del proyecto en etapas claramente definidas, priorizar tareas en función de su relevancia y gestionar el desarrollo de forma incremental y colaborativa, favoreciendo una adaptación continua a los requerimientos identificados durante el proceso. En una primera fase, orientada a la definición de requisitos, se identificaron y estructuraron las funcionalidades principales del aplicativo, las cuales constituyeron la base del desarrollo posterior. En esta etapa se establecieron módulos clave como las recomendaciones generales, el seguimiento del ciclo de gestación y la sección de alimentación, los cuales fueron incorporados progresivamente según las prioridades definidas en el tablero Kanban. Las tareas se organizaron en estados de pendientes, en curso y completadas, lo que permitió un control sistemático del avance del proyecto. Las funcionalidades definidas en esta fase se sintetizan en la Tabla 1, donde se presentan los principales módulos del aplicativo móvil.

Tabla 1. Funcionalidades principales

Módulos funcionales	Descripción
Gestión de usuarios	Registro y autenticación de usuarias mediante credenciales únicas.
Menú principal	Acceso centralizado a perfil, configuración y módulos de acompañamiento.
Seguimiento gestacional	Apoyo al monitoreo del embarazo y controles prenatales.
Acompañamiento psicosocial	Actividades de bienestar emocional, meditación y recomendaciones generales.
Alimentación y ejercicio	Orientaciones nutricionales y rutinas físicas adaptadas al trimestre.
Uso de medicamentos	Consulta y registro de medicamentos prescritos durante el embarazo.
Chatbot	Asistencia automatizada para consultas frecuentes sobre embarazo y cuidados.
Contacto con centro de salud	Acceso a información institucional y contactos de emergencia.

De manera complementaria a las funcionalidades descritas, el desarrollo del aplicativo consideró un conjunto de requisitos no funcionales orientados a garantizar la calidad del sistema, tales como la usabilidad, la compatibilidad con dispositivos móviles, la organización de la información, la seguridad de los datos y la conectividad con servicios externos. Estos aspectos, fundamentales para asegurar una experiencia de uso adecuada y la protección de la información de las usuarias, se resumen en la Tabla 2, donde se presentan los principales atributos de calidad contemplados en la propuesta.

Tabla 2. Requisitos no funcionales

Atributo de calidad	Descripción
Usabilidad	Interfaz intuitiva y dinámica orientada a facilitar el uso y reducir la curva de aprendizaje.
Compatibilidad	Funcionamiento compatible con dispositivos móviles basados en sistema operativo Android.
Organización de la información	Estructura clara y coherente de las secciones para facilitar la navegación y el acceso a contenidos.
Seguridad de la información	Protección de los datos personales de las usuarias durante su almacenamiento y transferencia.
Conectividad externa	Integración con enlaces a redes sociales, contactos de emergencia y servicios de geolocalización.

La segunda fase, correspondiente a la arquitectura de desarrollo, estuvo orientada a la estructuración técnica del aplicativo móvil, constituyendo un puente entre la definición funcional y la implementación del sistema. En esta etapa se definió la organización interna de la aplicación, la distribución de los módulos y la lógica de navegación, con el objetivo de asegurar una arquitectura coherente, escalable y alineada con las funcionalidades previamente establecidas. La adopción de la metodología Kanban facilitó la coordinación entre las tareas de diseño y estructuración, permitiendo realizar ajustes progresivos conforme se validaban los requerimientos funcionales. Tal como se ilustra en la Figura 2, la arquitectura del sistema se estructuró bajo un modelo cliente-servidor, compuesto por un frontend desarrollado en FlutterFlow y un backend basado en Firebase Console. La parte frontend del sistema se desarrolló a partir de la herramienta FlutterFlow, un entorno de desarrollo visual para el frame Flutter desarrollado por Google que favorece el diseño de un interfaz a medida, simple y orientada a la mejora de la experiencia de las usuarias. Todo ello apoyó la implementación de algunas funcionalidades del aplicativo, entre las que destacan el módulo de registro y consulta de medicamentos, contribuyendo a esa mejora de la usabilidad y accesibilidad del sistema.

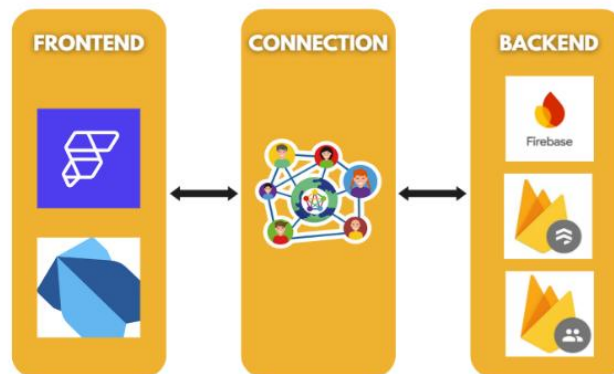


Figura 2. Arquitectura de desarrollo

En cuanto al desarrollo del backend fue utilizado Firebase Console, un servicio que permite de forma sencilla y básica la gestión segura de usuarios mediante Firebase Authentication, la persistencia de datos en tiempo real mediante Firestore y la posibilidad de poder enviar notificaciones mediante Cloud Messaging. Estuvo también presente Firebase Analytics, que permitía verificar el uso del aplicativo y obtuvimos información sobre las interacciones de las usuarias para mejorar el sistema. El uso de Firebase se basó en su fiabilidad, su escalabilidad y su adecuación para el desarrollo de aplicaciones móviles que requieren de la gestión y la constante sincronización de datos.

En el transcurso de esta etapa de la arquitectura donde debían interactuar el frontend y el backend se adoptó una implementación basada en las APIs de programación proporcionadas de forma segura, lo cual asegura la disponibilidad para intercambiar la información de forma eficiente y mediante técnicas en tiempo real. Firebase Authentication se implementó para hacer posible la obtención de un sistema seguro de autenticación de las usuarias y Firestore fue el encargado por su parte del almacenamiento y sincronización. Medidas adicionales de seguridad se pusieron en práctica, como las reglas personalizadas en Firestore o el cifrado de la información sensible mientras era transmitida. Se adoptaron procedimientos de optimización de la ejecución del propio sistema, técnicas como el caché de datos y la paginación para gestionar cantidades muy considerables de información sin comprometer la experiencia de uso.

La última etapa fue la implementación de la aplicación móvil, las actividades definidas en actividades anteriores se llevaron a cabo de forma gradual, en línea con el flujo establecido de acuerdo a la metodología Kanban. Cada actividad estaba planificada de acuerdo con un cronograma de trabajo gracias al que se transitó de forma ordenada entre las columnas de pendientes, desarrollo y finalizadas. Esto ha facilitado la detección temprana de cuellos de botella, la distribución de carga de trabajo en tiempo real y la programación de tiempos de entrega garantizando, a su vez, la calidad funcional y la coherencia del aplicativo con los objetivos de acompañamiento psicosocial establecidos. La Fig. 3 muestra las pantallas principales del aplicativo móvil, donde se pueden ver la pantalla de perfil de usuario, el menú principal y los módulos informativos relacionados con alimentación, recomendaciones generales y ejercicios. Estas vistas muestran la implementación de una pantalla visual intuitiva y adecuada para facilitar la navegación y el acceso rápido a los contenidos de acompañamiento psicosocial y cuidado gestacional, primando la usabilidad y la claridad informativa.



Figura 3. Interfaces principales del aplicativo móvil

La Fig. 4 muestra las diferentes pantallas iniciales del aplicativo, el proceso de registro y el proceso de inicio de sesión, donde las pantallas están pensadas para ser accesibles, fáciles de usar y prácticas de utilizar. Las pantallas permiten dar de alta una cuenta personal y acceder al sistema mediante credenciales personales. El proceso de inicio de sesión aplica validaciones básicas para proteger los datos personales y el acceso basado en ellos. Desde el punto de vista del diseño de la interacción, las pantallas dan prioridad a la simplicidad visual y la claridad de cómo se debe usar el aplicativo, contemplando específicamente que el uso del aplicativo sea accesible y que se mantenga un proceso continuo de incorporación, paso a paso. De esta manera, el aplicativo busca generar confianza a partir del primer contacto y empoderar a las gestantes para que comiencen a usarlo pronto.



Figura 4. Vista de inicio, autenticación y registro de usuarias

La Figura 5 representa, por un lado, las interfaces que personifican los módulos de acompañamiento psicosocial, el chatbot y la sección de contacto con el centro de salud. El chatbot fue concebido para constituir un canal de soporte automatizado que persigue dar respuesta a las posibles consultas frecuentes que se pueden encontrar en relación con el proceso gestacional, brindando respuestas automáticas, inmediatas y accesibles, las cuales son complementarias al acompañamiento proporcionado por el personal de salud. Mientras que el módulo de contacto es el canal que da acceso a la información institucional en general y a números de emergencia, lo cual contribuye a fortalecer los propios canales de comunicación que están disponibles para las usuarias.

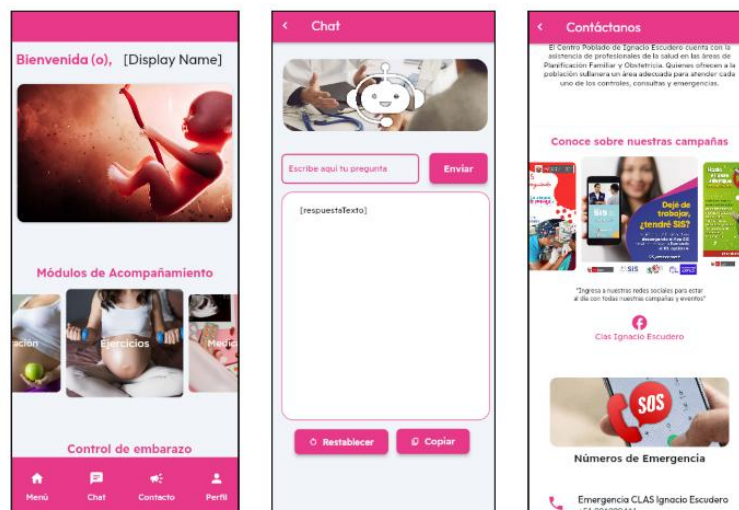


Figura 5. Módulos de acompañamiento psicosocial, chatbot y contacto institucional

En la Figura 6 se puede observar el módulo de medicamentos, que permite registrar, consultar y estructurar la información de la medicación prescrita durante el embarazo. Este módulo estructura la información (el nombre del medicamento, la dosis prescrita y su descripción), que pueden consultarse de forma ordenada y clara, favoreciendo así el acceso a esta información terapéutica. Desde el punto de vista funcional, el módulo de medicamentos busca ayudar a tomar la medicación prescrita y a disminuir los errores motivados por el olvido o la confusión asociada al hecho de tomar medicación. Por tanto, este módulo da lugar a un control más responsable de la salud materna y ofrecer un recurso digital a las mujeres embarazadas (para fomentar su adherencia terapéutica), con la intención de reforzar el cumplimiento de las recomendaciones proporcionadas.

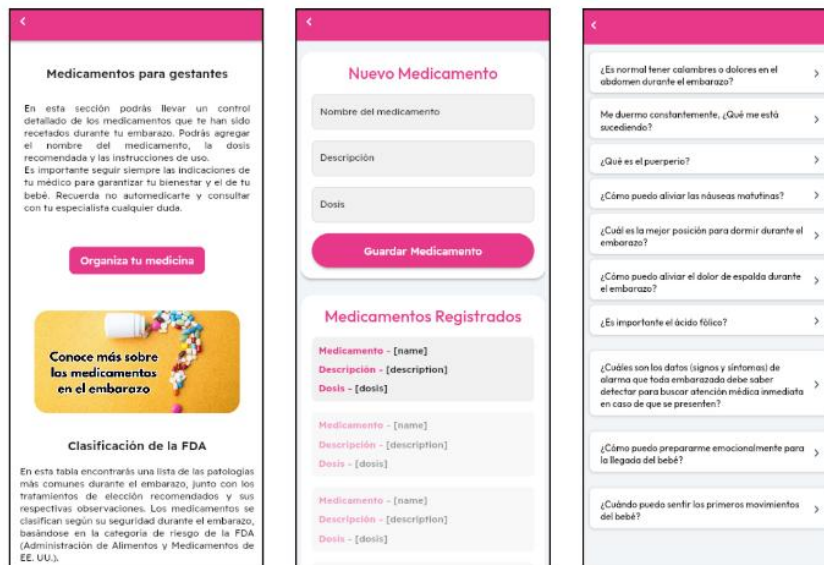


Figura 6. Gestión y registro de medicamentos durante el embarazo

La Figura 7 ilustra el módulo de ejercicios físicos, estructurado de acuerdo con los distintos trimestres de gestación. Esta funcionalidad permite a las usuarias acceder a rutinas específicamente adaptadas a su etapa del embarazo, considerando criterios básicos de seguridad y adecuación física. El módulo tiene como finalidad promover la práctica de actividad física controlada, contribuyendo tanto al bienestar físico como al equilibrio emocional durante la gestación. Asimismo, la integración de enlaces a contenidos audiovisuales facilita la comprensión de los ejercicios propuestos y favorece su correcta ejecución, reduciendo barreras asociadas a la interpretación de las indicaciones y fortaleciendo la adherencia a las recomendaciones de actividad física.

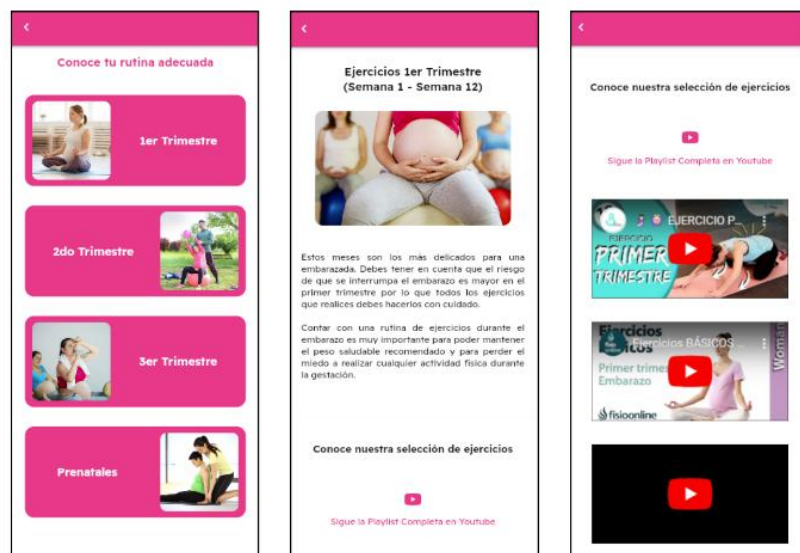


Figura 7. Módulo de ejercicios físicos por trimestre gestacional

Por último, la Figura 8 presenta la sección de preguntas frecuentes y contenidos educativos, diseñada para abordar dudas comunes vinculadas al embarazo, el descanso, la nutrición y la salud emocional. Este módulo cumple una función central dentro del componente psicoeducativo del aplicativo, al proporcionar información estructurada y de fácil acceso que responde a inquietudes recurrentes durante la gestación. Adicionalmente, la inclusión de espacios de comentarios promueve la participación de las usuarias, favoreciendo el intercambio de experiencias y el aprendizaje compartido.



Figura 8. Sección de preguntas frecuentes y contenidos educativos

2.4 Evaluación y contrastación de hipótesis

Con el propósito de evaluar el efecto del aplicativo móvil sobre el acompañamiento psicosocial, se establecieron indicadores y se formularon hipótesis específicas asociadas a cada uno de los indicadores de la variable dependiente, las cuales se presentan de manera sintetizada en la Tabla 3.

Tabla 3. Requisitos no funcionales

Indicador	Hipótesis
Nivel de satisfacción	H1: El uso del aplicativo móvil incrementa significativamente el nivel de satisfacción de las usuarias respecto al apoyo psicosocial recibido. H0 ¹ : El uso del aplicativo móvil no produce un incremento significativo en el nivel de satisfacción de las usuarias respecto al apoyo psicosocial recibido.
Relevancia de la información	H2: El uso del aplicativo móvil incrementa la relevancia percibida de la información brindada durante el acompañamiento psicosocial. H0 ² : El uso del aplicativo móvil no incrementa de manera significativa la relevancia percibida de la información durante el acompañamiento psicosocial.
Capacidad de comprensión	H3: El uso del aplicativo móvil incrementa la capacidad de comprensión percibida durante el proceso de acompañamiento psicosocial. H0 ³ : El uso del aplicativo móvil no incrementa de manera significativa la capacidad de comprensión percibida durante el acompañamiento psicosocial.

III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del cuestionario, el cual evalúa tres métricas asociadas al acompañamiento psicosocial, iniciando con el indicador Nivel de satisfacción, medido mediante cinco preguntas dirigidas a mujeres gestantes. En este marco, la pregunta 1 estuvo orientada a evaluar la satisfacción general respecto al acompañamiento recibido durante el ciclo de gestación. La pregunta 2 examinó la percepción del beneficio del acompañamiento en la mejora de los hábitos diarios. La pregunta 3 se centró en identificar el impacto del acompañamiento en el bienestar emocional y mental. La pregunta 4 exploró la percepción de un acompañamiento personalizado a lo largo del embarazo.

Por último, la pregunta 5 recogió la valoración global del servicio de acompañamiento prenatal brindado. Tal como se aprecia en la Figura 9, las respuestas correspondientes a las preguntas 1, 2 y 5 registran aproximadamente un 35 % de valoraciones favorables en las categorías de acuerdo y totalmente de acuerdo, lo que sugiere una aceptación moderada del acompañamiento en términos generales. En contraste, las preguntas 3 y 4, vinculadas al bienestar emocional y a la personalización del acompañamiento, presentan niveles elevados de neutralidad, cercanos al 55 % y 50 %, respectivamente. Asimismo, se observan respuestas en desacuerdo que oscilan entre el 20 % y el 40 % en las preguntas 2, 3 y 4, lo que pone de manifiesto percepciones críticas en dimensiones clave del apoyo psicosocial. En conjunto, estos resultados indican que, si bien existe una valoración positiva inicial del servicio, persisten limitaciones percibidas en el impacto emocional y en la adecuación del acompañamiento a las necesidades individuales de las gestantes, lo que fundamenta la pertinencia de la intervención propuesta mediante el aplicativo móvil.

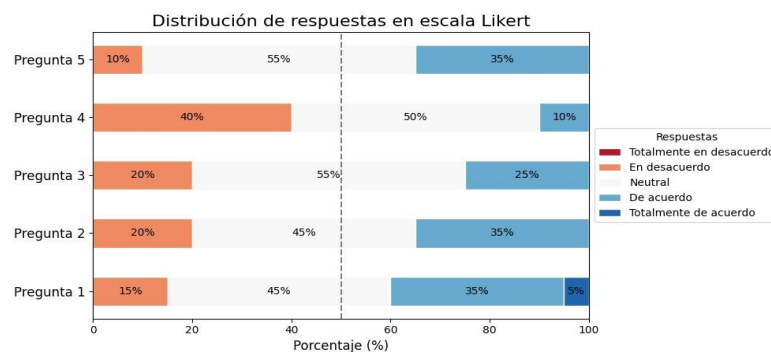


Figura 9. Resultados del indicador 1: Nivel de satisfacción

De igual manera, la Figura 10 presenta la distribución de las respuestas correspondientes al indicador relevancia de la información, el cual fue evaluado mediante cinco preguntas. En particular, la pregunta 6 estuvo orientada a identificar si la información proporcionada sobre los controles prenatales fue clara y comprensible. La pregunta 7 evaluó si la información recibida era percibida como precisa y respaldada por profesionales de la salud. La pregunta 8 se centró en determinar si la información brindada fue considerada suficiente para llevar un adecuado control del embarazo. La pregunta 9 exploró si la información abordó de manera adecuada las dudas y preocupaciones específicas de las gestantes. Mientras que, la pregunta 10 examinó la percepción sobre el registro adecuado del ciclo de gestación. Tal como se observa en la Figura 10, las preguntas 6, 7 y 9, vinculadas a la relevancia de la información obtuvieron un respaldo por profesionales de la salud logrando una mayor concentración en respuestas positivas, con porcentajes entre el 40 % y el 55 % en la categoría de acuerdo. Sin embargo, se registran niveles elevados de neutralidad en la pregunta 6, asociada a la identificar si la información es clara y comprensible, con aproximadamente un 45 %, y en la pregunta 7, relacionada con la precisión y el respaldo profesional, con valores cercanos al 50 %.

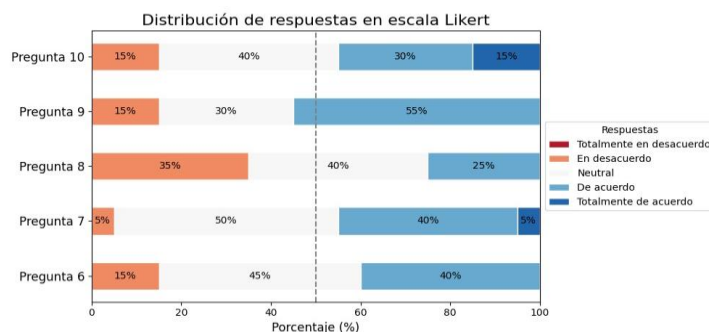


Figura 10. Resultados del indicador 2: Relevancia de la información

Esta situación, evidencia percepciones aún ambiguas en estos aspectos. Asimismo, las respuestas en desacuerdo resultan más relevantes en la pregunta 8, referida a la suficiencia de la información para el control del embarazo, alcanzando alrededor del 35 %, mientras que en las preguntas 6, 9 y 10 se observan valores cercanos al 15 %. En esta misma línea, la Figura 11, expone los resultados correspondientes al indicador capacidad de comprensión se basan en cinco preguntas orientadas a evaluar la accesibilidad, claridad y adecuación del acompañamiento psicosocial brindado. En este sentido, la pregunta 11 estuvo vinculada a la facilidad de acceso al servicio de acompañamiento psicosocial, la pregunta 12 evaluó el grado de comprensión de la información recibida durante el acompañamiento, la pregunta 13 se centró en determinar si las orientaciones brindadas fueron comprensibles y útiles para el cuidado personal, la pregunta 14 exploró la adecuación del servicio a las necesidades individuales de las gestantes, y la pregunta 15 examinó la percepción general sobre la idoneidad del acompañamiento psicosocial ofrecido. Los resultados muestran que las preguntas 12, 13 y 15 concentran respuestas mayoritariamente favorables en la categoría de acuerdo, con porcentajes aproximados del 60 %, 55 % y 40 %, respectivamente, lo que indica una valoración positiva de la comprensión y utilidad del acompañamiento. No obstante, las preguntas 11 y 14 presentan niveles elevados de neutralidad, cercanos al 40 % y 70 %, lo que sugiere percepciones poco definidas en relación con la accesibilidad y la adecuación del servicio. Asimismo, las respuestas en desacuerdo adquieren mayor relevancia en la pregunta 11, con alrededor del 40 %, y en la pregunta 15, con aproximadamente un 30 %, destacando además que la pregunta 11 registra un 10 % de respuestas totalmente en desacuerdo.

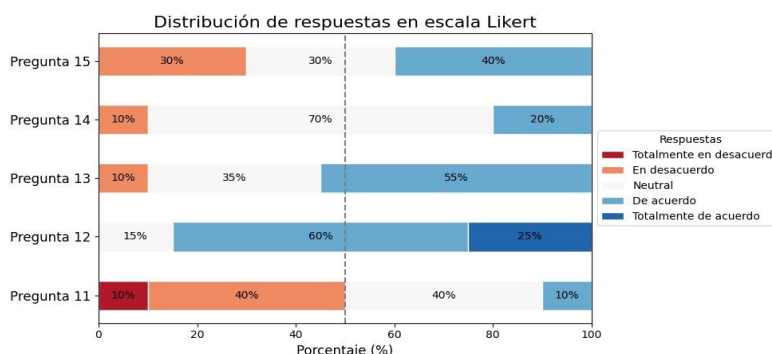


Figura 11. Resultados del indicador 3: Capacidad de comprensión

Luego de exponer los resultados correspondientes a la etapa de pre-intervención, la Figura 12 presenta los resultados del post-test del Indicador Nivel de satisfacción, en los que se evidencia una mejora clara tras la implementación del aplicativo móvil. Los porcentajes elevados de respuestas favorables, que oscilan entre 60 % y 80 % en la categoría de acuerdo y alcanzan hasta 65 % en totalmente de acuerdo, indican una aceptación sólida del acompañamiento brindado. De manera complementaria, la reducción de las respuestas neutrales a valores cercanos al 5 % refleja una percepción más definida y consistente por parte de las participantes respecto al apoyo recibido mediante la aplicación.

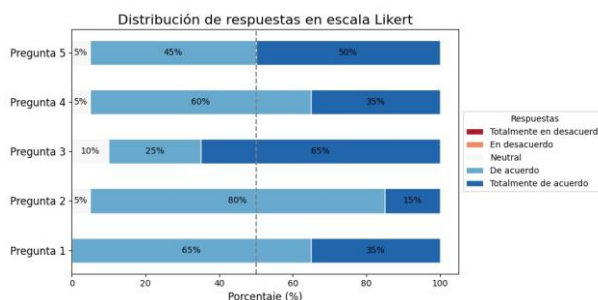


Figura 12. Resultados del indicador 1: Satisfacción del usuario

En continuidad con los resultados anteriores, la Figura 13 muestra el comportamiento del Indicador Relevancia de la información en el post-test, evidenciándose un desplazamiento claro hacia valoraciones positivas. Las respuestas se concentran principalmente en las categorías de acuerdo y totalmente de acuerdo, con porcentajes que alcanzan aproximadamente el 45 % en la valoración más alta y entre 50 % y 65 % en la categoría de acuerdo. De manera complementaria, uno de los ítems presenta una distribución equilibrada entre respuestas neutrales y favorables, con valores cercanos al 40 %, lo que sugiere la persistencia de percepciones diversas en aspectos específicos. En conjunto, estos resultados confirman que la información proporcionada mediante la aplicación fue percibida como relevante y aplicable, reforzando la experiencia de acompañamiento psicosocial.

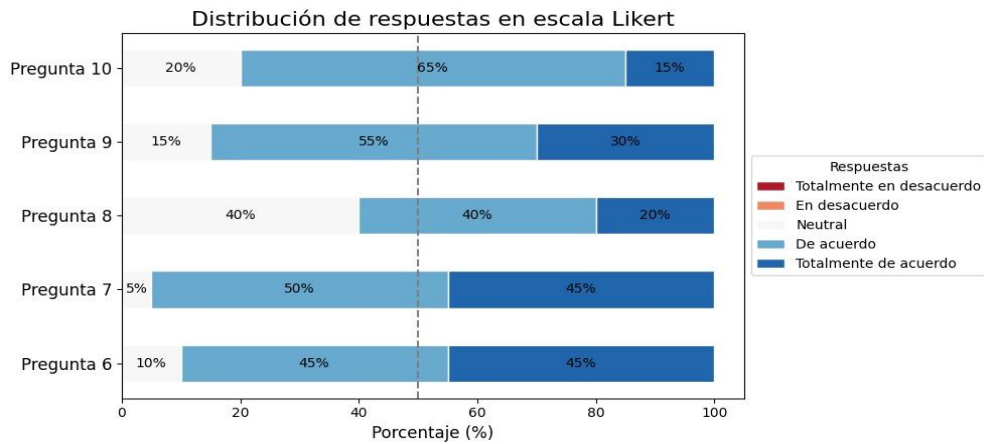


Figura 13. Resultados del indicador 2: Relevancia de la información

En la misma línea de análisis, la Figura 14 presenta los resultados correspondientes al Indicador Capacidad de comprensión en el post-test. Las respuestas muestran una distribución más heterogénea, con la presencia de valoraciones neutrales y desacuerdos moderados en algunos ítems, donde las categorías de desacuerdo alcanzan valores cercanos al 20 % y 30 %, mientras que las respuestas favorables se sitúan alrededor del 35 % en determinados casos. No obstante, se observa un comportamiento claramente positivo en uno de los ítems, donde las respuestas se concentran de manera equilibrada entre de acuerdo y totalmente de acuerdo, alcanzando el 100 % de valoraciones favorables. En conjunto, estos resultados evidencian un impacto mayoritariamente positivo del aplicativo móvil en la capacidad de comprensión de las usuarias, aunque también revelan áreas específicas con percepciones menos favorables que señalan oportunidades de mejora para fortalecer el acompañamiento psicosocial.

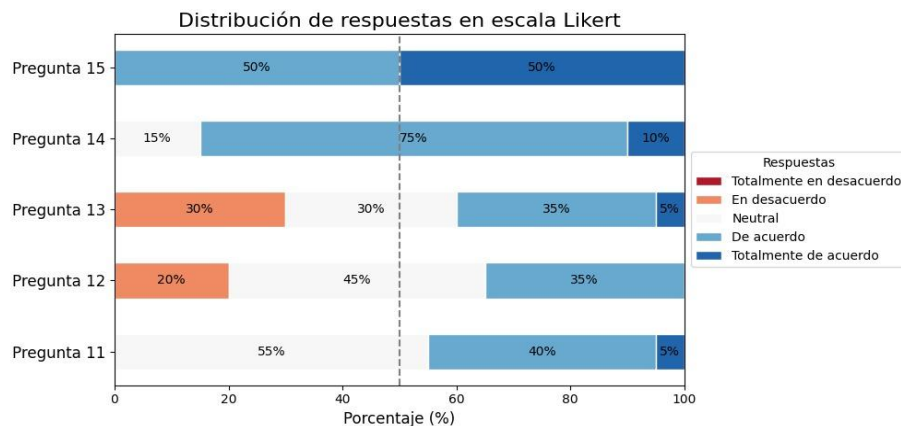


Figura 14. Resultados del indicador 3: Capacidad de comprensión

Como complemento al análisis descriptivo e interpretativo de los resultados, se realizó la contrastación de hipótesis con el objetivo de verificar estadísticamente el efecto del uso del aplicativo móvil sobre los indicadores evaluados. Tal como se presenta en la Tabla 4, los resultados de la prueba de normalidad evidencian valores adecuados para la aplicación de pruebas paramétricas en las mediciones pre-test y post-test.

En este contexto, la prueba t de Student para muestras relacionadas permitió contrastar las hipótesis planteadas para cada indicador, obteniéndose valores de significancia estadística inferiores a 0,05 en los tres casos analizados. Concretamente, los resultados permiten confirmar un aumento estadísticamente significativo en el nivel de satisfacción que experimentan las asistentes, así como en la importancia que asignan a la información y en su capacidad de comprensión con respecto a la asistencia psicosocial tras el uso del aplicativo móvil. Como consecuencia, se aceptan las hipótesis alternativas propuestas, lo cual invita a considerar la efectividad empírica de la intervención tecnológica que se plantea integrar en el acompañamiento psicosocial hacia las mujeres embarazadas o gestantes.

Tabla 4. Resultados de la prueba t para la contrastación de hipótesis

Hipótesis	Indicador	Normalidad		Prueba	P-Sig.	Decisión
		Pre-test	Post-test			
H1: El uso del aplicativo móvil incrementa significativamente el nivel de satisfacción de las usuarias respecto al apoyo psicosocial recibido.	Nivel de satisfacción.	,059	,021	t Student	,000	Aceptada
H2: El uso del aplicativo móvil incrementa la relevancia percibida de la información brindada durante el acompañamiento psicosocial.	Relevancia de la información.	,069	,072	t Student	,000	Aceptada
H3: El uso del aplicativo móvil incrementa la capacidad de comprensión percibida durante el proceso de acompañamiento psicosocial.	Capacidad de entendimiento.	,272	,133	t Student	,002	Aceptada

IV. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio evidencian que la incorporación del aplicativo móvil tuvo un impacto positivo y cuantificable en el acompañamiento psicosocial de las mujeres gestantes, reflejado en incrementos consistentes en los niveles de satisfacción, en la relevancia percibida de la información y en la capacidad de comprensión tras la intervención. El contraste entre las mediciones pre-test y post-test permite identificar cambios sustanciales que respaldan la efectividad de la solución tecnológica propuesta. En términos de satisfacción, los resultados muestran un aumento notable tras la implementación del aplicativo móvil, pasando de un 45 % de usuarias satisfechas en la medición inicial a un 86 % en el post-test, lo que representa un incremento de 41 puntos porcentuales. Este cambio cuantitativo indica una mejora significativa en la percepción del acompañamiento recibido y resulta coherente con lo señalado por Mayol [20], quien destaca que las soluciones de telemedicina incrementan la satisfacción de los pacientes al facilitar el acceso a servicios de salud y reducir el estrés asociado a la atención presencial. Asimismo, la magnitud del aumento observado es consistente con los hallazgos de Masías y Maximiliano [26], quienes reportaron un incremento del 51 % en el nivel de satisfacción de gestantes tras el uso de una aplicación móvil de acompañamiento nutricional. En conjunto, estos resultados refuerzan la evidencia de que los aplicativos móviles constituyen un complemento eficaz para mejorar la experiencia del usuario en contextos de atención gestacional.

Respecto a la relevancia de la información, los resultados del post-test evidencian un incremento del 23,24 % en las respuestas favorables en comparación con la medición previa, lo que indica que el contenido proporcionado por el aplicativo fue percibido como más útil, claro y aplicable tras la intervención. Este hallazgo se alinea con lo reportado por Rodríguez-Riesco y Senín [21], quienes señalan que las aplicaciones de salud resultan efectivas cuando ofrecen información relevante que puede integrarse en la rutina diaria del usuario. De manera concordante, Corales [22] reportó que el 85 % de mujeres gestantes considera importante que los centros de salud cuenten con aplicaciones móviles personalizadas, mientras que el 75 % las reconoce como útiles en su vida diaria. Los valores cuantitativos obtenidos en el presente estudio refuerzan la idea de que la relevancia del contenido informativo es un factor clave para la aceptación y el uso sostenido de este tipo de herramientas.

En relación con la capacidad de comprensión, los resultados del post-test muestran una mejora significativa en la percepción de entendimiento de las orientaciones y actividades propuestas, destacando ítems que alcanzan hasta un 100 % de respuestas favorables en algunos casos. No obstante, persisten porcentajes moderados de neutralidad y desacuerdo en determinados aspectos, lo que sugiere oportunidades de mejora en la accesibilidad y adecuación del servicio. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Espinoza y Paredes [23], quienes señalan que las aplicaciones móviles facilitan el seguimiento y la comprensión de la información en poblaciones vulnerables. De forma similar, Novoa et al. [24] evidenciaron que el 65 % de las gestantes prefiere modelos de atención mixta, mientras que Devi [25] reportó que el 77,78 % de las aplicaciones dirigidas a gestantes automatizan procesos de seguimiento y monitoreo, favoreciendo una comprensión más clara y oportuna de los cuidados necesarios durante el embarazo.

4.1 Implicaciones prácticas y teóricas del estudio

Los resultados obtenidos del estudio demuestran que el acompañamiento psicosocial a través de las aplicaciones de los dispositivos móviles puede considerarse un factor relevante dentro de la atención gestacional más tradicional. Desde un enfoque práctico, la diferencia importante en los incrementos de valores en la satisfacción de la información y de la capacidad de comprensión expone que éstas pueden incorporar las soluciones digitales para una mejor atención de la experiencia de las gestantes, en especial en los contextos donde hay poca posibilidad de acceso a la atención exclusiva de forma continua. En particular, la aplicación de un aplicativo permite ofrecer información adecuada, apoyar el seguimiento del embarazo y ofrecer un acompañamiento más continuado sin pretender sustituir el acompañamiento sincrónico, sino que al contrario intenta potenciarlo y añadirle características de continuidad. En este sentido, los resultados favorecen la iniciativa de incluir herramientas digitales, de bajo coste, dentro de la salud materna para poder ofrecer un soporte a los centros de salud y, al mismo tiempo, ofrecer capacidades que fomenten la autonomía y la participación de las gestantes en el cuidado de su atención.

Desde un enfoque teórico, el estudio aporta evidencias empíricas que dan soporte a aquellos enfoques que entienden el acompañamiento psicosocial como un proceso abierto y dinámico, donde la accesibilidad a la información, la percepción del soporte y la comprensión de las recomendaciones otorgadas juegan un papel importante. Los resultados también muestran que, al mediarlos tecnológicamente puede ser un aspecto facilitador del acceso a la información, al desarrollo de la interacción entre la gestante y los recursos disponibles. Al mismo tiempo, el incremento de los niveles observados con los indicadores de la evaluación también contribuye a ampliar la discusión teórica que rodea el uso de los móviles en la salud, en particular el embarazo, para mostrar que los efectos no simplemente responden a los aspectos explicativos de la información, sino que también afectan dimensiones emocionales y cognitivas del acompañamiento psicosocial.

4.2 Limitaciones del estudio y perspectivas futuras

A pesar de los resultados obtenidos, el estudio presenta algunas limitaciones a tener en cuenta a la hora de interpretar sus hallazgos. En primer lugar, el tamaño reducido de la muestra y la procedencia de un único centro de salud limitan la posibilidad de generalizar sus resultados a otros contextos geográficos, así como a otras poblaciones con características socioculturales diferentes. Del mismo modo, el diseño pre-experimental, que responde con la idea de poder medir el efecto de intervenciones aplicadas o de prueba, no incluye un grupo de control, lo cual limita atribuir de manera exclusiva a la utilización del aplicativo móvil los cambios observados. Por otro lado, la evaluación de la intervención se basó en instrumentos de autorreporte que pueden verse influenciados por sesgos perceptivos y la duración de la intervención no permitió explorar los efectos del acompañamiento psicosocial a largo plazo, de tal forma que no se podría identificar un posible efecto deseable o no deseado de la intervención a largo plazo.

En este sentido, futuras líneas de investigación podrían ser exploraciones que incorporaran diseños experimentales o cuasi-experimentales de muestras un poco más amplias y heterogéneas, así como una evaluación longitudinal que permita ver la sostenibilidad del efecto de los resultados en el tiempo. Al mismo tiempo, sería importante explorar la inclusión de funcionalidades adaptativas y mecanismos de personalización más avanzados capaces de responder a la variabilidad de las necesidades de las gestantes. En estas líneas de investigación se podría avanzar hacia un mejor entendimiento del papel de las tecnologías móviles en el acompañamiento psicosocial y fortalecer la base empírica para su inclusión en los sistemas de atención gestacional.

V. CONCLUSIONES

Los resultados del uso de la aplicación móvil orientada al acompañamiento psicosocial del embarazo ofrecen evidencias concretas que apuntan a una revalorización y una forma de vivir la experiencia de la gestación caracterizada por la lógica de la mayor accesibilidad y continuidad en el acompañamiento. De hecho, la mejora de la satisfacción de las usuarias así como de su valoración y comprensión de la información refleja que la mediación tecnológica puede ser un elemento estabilizador en una etapa vital caracterizada por una gran carga emocional, como también por una incertidumbre acentuada a través de la misma. Al mismo tiempo, la aplicación no es solo un canal de información, sino que actúa como un dispositivo de acompañamiento que en cierta medida ayuda a articular el propio seguimiento del embarazo, al mismo tiempo que acentúa la sensación de acompañamiento, especialmente importante cuando la atención es fragmentada o muy escasa.

Por tanto, en una dimensión más amplia, la evidencia de los hallazgos pone de manifiesto la necesidad de ir hacia modelos de atención gestacional que incorporen de manera estratégica soluciones digitales que atiendan las necesidades paternas y sociales de las personas usuarias. La evidencia expone que las aplicaciones móviles pueden hacer que aumente la cobertura de los cuidados prenatales sin suplantar la interacción clínica en persona, favoreciendo atender a métodos de cuidado más flexibles, consistentes y sensibles al bienestar emocional. Desde este punto de vista, el estudio nutre el debate actual en salud digital materna, añadiendo argumentos empíricos que agregan al uso de tecnologías móviles como instrumentos complementarios para favorecer unas atenciones prenatales más humanas, integradas y alineadas con modelos de atención centrados en la persona.

Contribución de los autores:

Todas las aportaciones fueron realizadas por la autora.

Agradecimientos:

Se da por entendido un sincero agradecimiento a la Universidad César Vallejo, por el apoyo institucional necesario, que dio acceso a los recursos académicos y tecnologías necesarios en llevar adelante esta investigación. De lo mismo, un agradecimiento al Centro de Salud, por su notable ayuda durante el proceso de llevar a cabo el proyecto, ayudando en la implementación y validación del aplicativo móvil. Finalmente, un agradecimiento a mí el asesor que, con sus aportaciones y su disposición, contribuyeron en gran medida al fortalecimiento metodológico, a la claridad argumentativa y proyección científica de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Financiamiento:

El estudio ha sido autofinanciado por la autora.

Declaración de consentimiento informado:

Se otorgó el consentimiento informado.

Declaración de disponibilidad de datos:

Los datos que respaldan los resultados de este estudio están disponibles previa solicitud.

Conflictos de intereses:

No existen conflictos de intereses.

Declaración de uso de IA:

Se utilizó un modelo de lenguaje para apoyar la revisión de estilo y corrección lingüística del manuscrito. El contenido académico es responsabilidad exclusiva del autor.




REFERENCIAS

- [1] N. Barrio-Forné and Á. Gasch-Gallén, "El acompañamiento como método para reducir la ansiedad en embarazadas ingresadas en el tercer trimestre," *Rev. esc. enferm. USP*, vol. 55, p. e03749, 2021. <https://doi.org/10.1590/s1980-220x2020018603749>
- [2] B. Caira-Chuquineyra *et al.*, "Prevalence and factors associated with adolescent pregnancy among sexually active adolescent girls in Peru: Evidence from Demographic and Family Health Survey, 2015-2019," *F1000Res*, vol. 11, p. 566, Oct. 2023. <https://doi.org/10.12688/f1000research.108837.2>
- [3] J. R. Mejia *et al.*, "Determinants of adolescent pregnancy in indigenous communities from the Peruvian central jungle: a case-control study," *Reprod Health*, vol. 18, no. 1, p. 203, Dec. 2021. <https://doi.org/10.1186/s12978-021-01247-z>
- [4] B. Caira-Chuquineyra *et al.*, "Prevalence and associated factors of adolescent pregnancy among sexually active adolescent girls: Evidence from the Peruvian Demographic and Family Health Survey, 2015-2019," *F1000Res*, vol. 11, p. 566, May 2022. <https://doi.org/10.12688/f1000research.108837.1>
- [5] S. Neal, C. Harvey, V. Chandra-Mouli, S. Caffee, and A. V. Camacho, "Trends in adolescent first births in five countries in Latin America and the Caribbean: disaggregated data from demographic and health surveys," *Reprod Health*, vol. 15, no. 1, p. 146, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1186/s12978-018-0578-4>
- [6] C. Rodríguez Ribas, "Adolescent pregnancy, public policies, and targeted programs in Latin America and the Caribbean: a systematic review," *Revista Panamericana de Salud Pública*, vol. 45, p. 1, Dec. 2021. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.144>
- [7] E. J. Levey *et al.*, "A qualitative analysis of adolescent motherhood within the broader family context in Peru," *Family Relations*, vol. 73, no. 2, pp. 1046-1066, Apr. 2024. <https://doi.org/10.1111/fare.12904>
- [8] C. C. Barber and B. Masters-Awatere, "Positively Pregnant: Development and piloting of a mobile app for social and emotional well-being in pregnancy," *Applied Psych Health & Well*, vol. 14, no. 4, pp. 1255-1272, Nov. 2022. <https://doi.org/10.1111/aphw.12333>
- [9] K. Doherty *et al.*, "A Mobile App for the Self-Report of Psychological Well-Being During Pregnancy (BrightSelf): Qualitative Design Study," *JMIR Ment Health*, vol. 5, no. 4, p. e10007, Nov. 2018. <https://doi.org/10.2196/10007>

- [10] J. A. Davis *et al.*, "Perinatal Women's Perspectives of, and Engagement in, Digital Emotional Well-Being Training: Mixed Methods Study," *J Med Internet Res*, vol. 25, p. e46852, Oct. 2023. <https://doi.org/10.2196/46852>
- [11] D. S. Varma *et al.*, "Acceptability of an mHealth App for Monitoring Perinatal and Postpartum Mental Health: Qualitative Study With Women and Providers," *JMIR Form Res*, vol. 7, p. e44500, June 2023. <https://doi.org/10.2196/44500>
- [12] J. J. Castro Maldonado, L. K. Gómez Macho, and E. Camargo Casallas, "La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI," *Tecnura*, vol. 27, no. 75, pp. 140–174, Jan. 2023. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- [13] K. Vásquez-Uriarte, J. C. Roque-Henriquez, Y. Angulo-Bazán, and J. A. Ninatanta Ortiz, "Análisis bibliométrico de la producción científica peruana sobre la COVID-19," *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, vol. 38, no. 2, pp. 224–31, June 2021. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2021.382.7470>
- [14] W. A. Castaneda Sanchez, B. R. Polo Escobar, and F. Vega Huincho, "Artificial neural networks: a measurement of forecast learnings as potential demand," *uct*, vol. 27, no. 118, pp. 51–60, Feb. 2023. <https://doi.org/10.47460/uct.v27i118.686>
- [15] R. Castilla, A. Pacheco, and J. Franco, "Digital government: Mobile applications and their impact on access to public information," *SoftwareX*, vol. 22, p. 101382, May 2023. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101382>
- [16] M. A. Toledo Méndez, S. Ramos Cuellar, and R. Aneiros Martin, "La intervención psicosocial mediada por la subjetividad en la práctica clínica del apoyo social," *Medicentro Electrónica*, vol. 25, pp. 740–748, 2021. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30432021000400740
- [17] O. Bonet Collazo, A. Mazot Rangel, M. Casanova González, and N. R. Cruz Pérez, "Proyecto de investigación y tesis. Guía para su elaboración," *MediSur*, vol. 21, pp. 274–288, 2023. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2023000100274
- [18] R. R. Costa, O. P. Backes, P. Figueiredo, and F. A. D. S. Castro, "Processos de amostragem e cálculo para determinação do tamanho da amostra: critérios e métodos adotados em teses e dissertações em Ciências do Movimento Humano - um estudo descritivo," *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum.*, vol. 20, no. 5, pp. 480–490, Dec. 2018. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2018v20n5p480>
- [19] A. J. Cisneros Caicedo *et al.*, "Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que Apoyan a la Investigación Científica en Tiempo de Pandemia," *DC*, vol. 8, no. 1, pp. 1165–1185, Jan. 2022. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2546>
- [20] J. Mayol, "Digital solutions and health sciences," *Cirugía Española (English Edition)*, vol. 102, pp. S3–S7, July 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cireng.2023.11.011>
- [21] L. Rodríguez-Riesco and C. Senín-Calderón, "Aplicaciones móviles para evaluación e intervención en trastornos emocionales: una revisión sistemática," *Ter Psicol*, vol. 40, no. 1, pp. 131–151, Apr. 2022. <https://doi.org/10.4067/s0718-48082022000100131>
- [22] M. T. Corales Dulce, "Diagnóstico de un aplicativo móvil para conocer sobre las distintas etapas de gestación en mujeres en la Maternidad de María - Chimbote; 2019," *Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote*, June 2022, Accessed: Dec. 13, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/27461>
- [23] W. J. M. Espinoza and E. A. A. Paredes, "Effect of a mobile application on the precision of the preliminary diagnosis of anxiety," *Cogent Engineering*, vol. 7, no. 1, p. 1765689, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1765689>
- [24] R. H. Novoa *et al.*, "Control prenatal usando un enfoque mixto durante la pandemia COVID-19: un estudio de satisfacción de pacientes en un hospital terciario en Perú," *Rev. Bras. Saude Mater. Infant.*, vol. 24, p. e20220426, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9304202400000426>
- [25] S. Devi, "Review of Android Apps for Monitoring Pregnancy Symptoms and Care," *ISI*, vol. 29, no. 2, pp. 627–636, Apr. 2024. <https://doi.org/10.18280/isi.290224>
- [26] C. A. Masias Moncada and P. D. Maximiliano Paucar, "Aplicación móvil para el acompañamiento nutricional de mujeres gestantes," *Repositorio Institucional - UCV*, 2022, Accessed: Dec. 13, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/108668>

EL ROL MEDIADOR DE LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN SISTEMAS DE MARKETING DIGITAL: EVIDENCIA EMPÍRICA DEL RETAIL DE MODA

THE MEDIATING ROLE OF CUSTOMER SATISFACTION IN DIGITAL MARKETING SYSTEMS: EMPIRICAL EVIDENCE FROM FASHION RETAIL

Lexy Camila Escobar Medina , Serafín Osmar Peña Olaya , Ghenkis Ezcurra Zavaleta* 

Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, 24001, Perú

*Autor de Correspondencia: gezcurraz@untumbes.edu.pe

Historial del artículo:

Recibido: 03.10.2025

Revisado: 14.11.2025

Aceptado: 19.12.2025

En línea: 15.01.2026

Palabras clave:

Marketing digital

Calidad del servicio

Sistemas de información

Gestión de información

Economía digital

Keywords:

Digital marketing

Service quality

Information systems

Information management

Digital economy

Cómo citar:

L. C. Escobar Medina, S. O. Peña Olaya y G. Ezcurra Zavaleta, «El rol mediador de la satisfacción del cliente en sistemas de marketing digital: evidencia empírica del retail de moda», *International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI*, vol. 2, n.º 1, pp. 26–47, ene. 2026. doi: [10.64439/cisai.v2i1.3](https://doi.org/10.64439/cisai.v2i1.3)

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia [CC-BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



Resumen:

Este estudio analiza el rol mediador de la satisfacción del cliente en la relación entre los sistemas de marketing digital y la lealtad del cliente en el retail de moda de un mall de Tumbes, Perú, desde una perspectiva centrada en tecnologías de la información y sistemas digitales. Se adoptó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental y alcance explicativo, utilizando una muestra de 384 consumidores de 12 establecimientos seleccionados mediante muestreo no probabilístico. Los datos se recolectaron mediante un cuestionario de 35 preguntas orientado a evaluar el desempeño de los sistemas de información de marketing digital, la satisfacción del cliente y la lealtad, y fueron analizados mediante estadística correlacional. Los resultados evidencian relaciones positivas y significativas entre los sistemas de marketing digital y la satisfacción del cliente, así como entre dichos sistemas y la lealtad, identificándose la asociación más fuerte entre satisfacción y lealtad. Estos hallazgos confirman una mediación parcial de la satisfacción, lo que expone que la infraestructura tecnológica, la calidad de la información y la interacción digital influyen en la lealtad tanto de manera directa como a través de la experiencia del cliente.

Abstract:

This study analyzes the mediating role of customer satisfaction in the relationship between digital marketing systems and customer loyalty in the fashion retail sector of a shopping mall in Tumbes, Peru, from an information technology and digital systems perspective. A quantitative approach with a non-experimental design and explanatory scope was adopted, using a sample of 384 consumers from 12 retail stores selected through non-probability sampling. Data were collected using a 35-item questionnaire designed to assess the performance of digital marketing information systems, customer satisfaction, and loyalty, and were analyzed using correlational statistics. The results reveal positive and significant relationships between digital marketing systems and customer satisfaction, as well as between these systems and customer loyalty, with the strongest association observed between satisfaction and loyalty. These findings confirm a partial mediating effect of customer satisfaction, indicating that technological infrastructure, information quality, and digital interaction influence customer loyalty both directly and through the customer experience.

I. INTRODUCCIÓN

La transformación digital ha reconfigurado fundamentalmente los sistemas de información empresariales, particularmente en el sector minorista donde la gestión de relaciones con clientes conocida por su abreviatura CRM ha evolucionado desde plataformas transaccionales hacia ecosistemas analíticos integrados [1]. Los sistemas de información modernos aprovechan inteligencia artificial, analítica de big data, computación en la nube y aplicaciones móviles para personalizar interacciones, automatizar flujos de trabajo y entregar experiencias centradas en el cliente en tiempo real [2]. Esta evolución tecnológica ha posibilitado que las organizaciones minoristas transformen sus capacidades de gestión de conocimiento del cliente, permitiendo segmentación precisa, predicción de comportamiento y personalización a escala mediante el procesamiento de conjuntos masivos de datos estructurados y no estructurados [3]. Los sistemas CRM impulsados por datos se han consolidado como activos estratégicos que no solo mejoran métricas operacionales, sino que también impulsan innovación organizacional y generan ventaja competitiva sostenible [4]. La evidencia empírica demuestra que las organizaciones que implementan sistemas de información digitales sofisticados para marketing y CRM logran mejoras mensurables en satisfacción del cliente, tasas de retención y valor del tiempo de vida del cliente [5].

En esta línea, la literatura científica sostiene que la digitalización de las relaciones con los clientes integra enfoques provenientes de las teorías de adopción tecnológica, la gestión del conocimiento y el marketing relacional [6]. Sobre esta base teórica, la analítica predictiva, habilitada por algoritmos de aprendizaje automático, ha ampliado las capacidades de los sistemas de gestión de relaciones con clientes, permitiéndoles anticipar comportamientos y personalizar interacciones mediante el análisis de patrones históricos de compra, navegación web y actividad en redes sociales [7]. En concordancia, se conoce que los modelos predictivos basados en regresión, árboles de decisión y redes neuronales pueden reducir los errores de pronóstico de demanda hasta en un 50%, lo que contribuye simultáneamente a mejorar la gestión de inventarios y las estrategias de marketing [8]. En consecuencia, la integración de datos en entornos omnicanal emerge como un mecanismo importante para eliminar silos de información, generando una vista unificada del cliente que fortalece el compromiso personalizado a lo largo de los puntos de contacto digitales y físicos [9]. De igual manera, los sistemas de analítica de datos en tiempo real procesan información transaccional, conductual y contextual para habilitar recomendaciones automatizadas, segmentación dinámica de clientes y estrategias de fijación de precios optimizadas [10]. Por tanto, la evidencia empírica demuestra que la calidad del sistema CRM, las capacidades de gestión de la interacción de los empleados potenciadas por dichos sistemas y las capacidades avanzadas de analítica de datos ejercen un impacto significativo en la satisfacción global del cliente, tanto en experiencias en línea como en entornos físicos de venta [11].

Sin embargo, aún persistentes vacíos en la implementación de sistemas de información para marketing digital [12]. Las pequeñas y medianas empresas deben considerar sus líneas base, limitaciones e idiosincrasias para desarrollar estrategias de digitalización alineadas, frecuentemente adoptando enfoques incrementales y graduales [13]. De igual manera, la literatura científica indica que la adopción efectiva de tecnologías digitales para CRM está mediada por factores tecnológicos (ventaja relativa, compatibilidad), organizacionales (preparación, soporte gerencial) y ambientales (presión competitiva, apoyo gubernamental, presión de socios y consumidores) [14]. En este sentido, estudios sobre transformación digital en retail exponen que la integración exitosa de sistemas de información para marketing requiere no solo infraestructura tecnológica adecuada, sino también cultura organizacional que soporte innovación y colaboración a nivel empresarial [15]. En mercados emergentes de América Latina, incluido el Perú, la adopción de comercio electrónico y sistemas de marketing digital ha experimentado crecimiento acelerado, consolidándose como uno de los mercados de más rápida expansión en la región [16].

Sin embargo, las organizaciones minoristas en mercados regionales enfrentan barreras relacionadas con limitaciones de infraestructura digital, alfabetización tecnológica en el consumidor y recursos limitados para implementación de sistemas empresariales complejos [17].

A pesar del reconocido potencial de los sistemas de información para transformar las capacidades de marketing y gestión de relaciones con clientes, persisten lagunas de conocimiento sustanciales en la comprensión de los mecanismos mediante los cuales diferentes perspectivas tecnológicas y estratégicas influyen en resultados organizacionales en contextos específicos [18]. En particular, existe escasa investigación empírica que considere cómo la implementación de sistemas de información para el marketing digital puede influir en la satisfacción y la lealtad del cliente en el entorno de los minoristas de mercados emergentes, el cual tiene un entorno socioeconómico y una infraestructura tecnológica que se caracterizan por ser claramente diferentes a los que se presentan en los mercados desarrollados. Este estudio intenta cubrir esa laguna mediante un análisis de caso en las tiendas de moda que están situadas en los centros comerciales de Tumbes (Perú), que se constituyen como un entorno de mercado emergente muy interesante con desarrollo (económico) en (el que se da) un contexto de transición, infraestructura tecnológica en régimen de construcción, pero en el que se encuentran, por otro lado, patrones de adopción tecnológica heterogéneos en la demografía del consumidor. El problema fundamental se encuentra en la ausencia de la comprensión empírica que permita comprender como las diferentes implementaciones de sistemas de información para el marketing digital como las técnicas de redes sociales, temas de gestión de contenido, herramientas de analíticas web y apps móviles, determinan las percepciones del cliente, o en qué dimensiones de satisfacción y las formas o mecanismos de formación de la lealtad en este entorno [19]. De hecho, esa falta de conocimiento ha hecho que los académicos y los profesionales carezcan de información empírica que les permita diseñar arquitecturas de sistemas de información que sean productores de un alto ROI en iniciativas de transformación digital [20].

En este sentido, el objetivo de este estudio es analizar, desde una perspectiva de sistemas de información, la influencia de las estrategias de implementación de tecnologías de marketing digital en la satisfacción y lealtad del cliente en el sector minorista de moda, utilizando como caso de estudio tiendas ubicadas en centros comerciales de la región Tumbes en Perú. Específicamente, esta investigación pretende:

- Evaluar la relación entre la implementación de sistemas de información para marketing digital y los niveles de satisfacción del cliente.
- Analizar el impacto de la satisfacción del cliente en la formación de lealtad de marca.
- Identificar las configuraciones tecnológicas y estratégicas de sistemas de información más efectivas para potenciar tanto la satisfacción como la lealtad del cliente.
- Proporcionar recomendaciones basadas en evidencia para la implementación y mejora de sistemas de información empresariales orientados al marketing digital en operaciones minoristas de mercados emergentes.

De acuerdo con los objetivos formulados, el presente trabajo se orienta a mostrar empíricamente cómo los sistemas de información en marketing digital explican la lealtad del cliente y a su vez cómo la satisfacción del cliente esto se traduce en un mecanismo mediador, en un enfoque tecnológico y conductual contextualizado al caso del retail de moda de economías emergentes. En líneas de este enfoque, la siguiente sección desarrolla de un modo sistemático el diseño metodológico seguido, describiendo la arquitectura conceptual del modelo, los procedimientos de recolección y análisis de datos y los criterios de validez y fiabilidad utilizados. Posteriormente, se muestran los resultados tras realizar el modelamiento de las ecuaciones estructurales, y se concluye con la discusión de los hallazgos en el marco de la literatura especializada y una vez más con las conclusiones, destacando sus implicaciones teóricas, tecnológicas y gerenciales.

II. MÉTODOS

2.1 Diseño de investigación

Este estudio empleó un diseño cuantitativo explicativo para examinar el rol mediador de la satisfacción del cliente en la relación entre sistemas de información de marketing digital y lealtad del cliente. Para tal fin, nos apoyamos en el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de DeLone y McLean (ISS Model) [21] con teorías de comportamiento del consumidor para evaluar cómo las configuraciones de sistemas afectan los resultados empresariales en mercados minoristas emergentes. El ISS Model postula que la calidad del sistema, la calidad de la información y la calidad del servicio influyen colectivamente en el uso del sistema y la satisfacción del usuario, los cuales posteriormente impactan en los beneficios netos en este contexto, la lealtad del cliente. Por tanto, el marco de la investigación extiende el ISS Model al tratar los sistemas de marketing digital como la infraestructura tecnológica, la satisfacción del cliente como el resultado experiencial (análogo a la satisfacción del usuario en ISS), y la lealtad del cliente como el beneficio neto. Esta adaptación se alinea con aplicaciones recientes del ISS Model en comercio electrónico y sistemas orientados al cliente [22] [23]. La Figura 1 ilustra el modelo de mediación propuesto, representando el flujo desde las características del sistema a través de la satisfacción hasta los resultados de lealtad.



Figura 1. Modelo conceptual integrando dimensiones ISS con resultados del cliente

2.2 Arquitectura de Sistemas de Información de Marketing Digital

En este apartado se delinea la arquitectura de los sistemas de información de marketing digital y de qué manera enfrente el desafío de su implementación en el sector retail. Para ello, el estudio examinó marcas de retail de moda que utilizan sistemas de información de marketing digital multicanal que comprenden tres capas tecnológicas primarias:

- Capa de presentación: Consta de plataformas de redes sociales (Facebook, Instagram, TikTok), aplicaciones móviles y sitios web responsivos.
- Capa de lógica de negocio: Sistemas de gestión de contenido, módulos de gestión de relaciones con clientes y herramientas de automatización de marketing.
- Capa de datos bases: Datos de clientes, registros de interacción y repositorios transaccionales.

De esta manera, la arquitectura de tres capas permite analizar el compromiso del cliente en tiempo real, entrega personalizada de contenido y capacidades de toma de decisiones basadas en datos. Las configuraciones de sistemas variaron entre los 12 establecimientos minoristas participantes, desde presencia básica en redes sociales con gestión manual hasta plataformas omnicanal integradas con capacidades automatizadas de interacción con clientes. La Tabla 1 categoriza estas configuraciones según niveles de madurez tecnológica, proporcionando contexto para analizar la relación entre la sofisticación del sistema y los resultados del cliente.

Tabla 1. Categorización de configuraciones de sistemas de marketing digital

Nivel de Madurez	Componentes Tecnológicos	Capacidades
Nivel 1: Básico	Perfiles redes sociales, sitio web estático, correo electrónico.	Publicación manual, consultas básicas de clientes, comunicaciones broadcast.
Nivel 2: Intermedio	CMS, herramientas gestión redes sociales, diseño web responsivo, CRM básico.	Contenido programado, segmentación clientes, seguimiento interacciones, campañas promocionales.
Nivel 3: Avanzado	CRM/CMS integrado, automatización marketing, app móvil, panel analítico, chatbot.	Contenido personalizado, respuestas automatizadas, targeting conductual, analítica tiempo real, coordinación omnicanal.

2.3 Muestra y Recolección de Datos

La población del estudio estuvo conformada por clientes de 12 establecimientos minoristas de moda ubicados en Tumbes, Perú, los cuales implementan sistemas de información de marketing digital con distintos niveles de madurez. El tamaño de la muestra se determinó a partir de parámetros estadísticos convencionales ($Z = 1.96$, $p = 0.50$, $e = 0.05$), obteniéndose un tamaño muestral requerido de $n = 384$ participantes. La selección de los encuestados se realizó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, aplicando los criterios de inclusión siguientes:

- Edad ≥ 18 años.
- Compra en los 6 meses previos.
- Interacción documentada con al menos un canal digital (redes sociales, sitio web, app móvil o campañas de correo).
- Consentimiento informado voluntario.

La recolección de datos se llevó a cabo durante un periodo de cuatro semanas en zonas de alto flujo próximas a los establecimientos participantes. Dos encuestadores previamente capacitados aplicaron cuestionarios estructurados, con un tiempo promedio de respuesta de 12 minutos, utilizando tabletas para la captura digital inmediata y la reducción de errores de transcripción. Los protocolos de control de calidad incluyeron procesos diarios de validación de datos y revisión de patrones de respuesta. El conjunto final de datos estuvo compuesto por 384 casos completos, sin valores faltantes, y resultó adecuado para el análisis mediante modelamiento de ecuaciones estructurales.

2.4 Instrumento

En esta sección se describe el proceso de diseño y validación del instrumento de medición. Se elaboró un cuestionario compuesto por 35 ítems, orientado a operacionalizar los constructos del estudio a partir de las dimensiones de calidad de los sistemas de información [21], adaptadas a un contexto centrado en el cliente y por estudios previos como Davis [24] y Oliver [25]. El instrumento utilizó escalas tipo Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo) y se estructuró en tres modelos de medición, los cuales se presentan en la Tabla 2. En una primera etapa, el cuestionario fue sometido a una revisión ciega entre los autores de la investigación, con el objetivo de evaluar la claridad semántica, coherencia conceptual y adecuación de los ítems a los constructos teóricos. Posteriormente, el instrumento fue validado mediante juicio de expertos, quienes evaluaron la pertinencia, relevancia y suficiencia de los ítems, asegurando su validez de contenido antes de la aplicación definitiva.

Tabla 2. Operacionalización de constructos basada en modelo ISS

Constructo	Dimensiones ISS	Indicadores
		Sistema: Facilidad navegación, tiempo respuesta, compatibilidad móvil, diseño interfaz, fiabilidad funcional.
SI Marketing Digital (SIMD)	Calidad Sistema (1-5) Calidad Información (6-10) Calidad Servicio (11-15)	Información: Relevancia contenido, precisión, oportunidad, completitud, formato. Servicio: Capacidad respuesta comunicación, soporte técnico, personalización interacción, integración multicanal.
Satisfacción Cliente (SC)	Cumplimiento Expectativas (16-20) Calidad Percibida (21-25) Experiencia Servicio (26-30)	Satisfacción general puntos contacto digitales, congruencia expectativa-desempeño, percepción calidad producto/servicio, relación precio-valor, efectividad servicio al cliente, eficiencia resolución problemas.
Lealtad Cliente (LC)	Lealtad Conductual y Actitudinal (31-35)	Intención recompra, disposición recomendación (proxy Net Promoter Score), intensidad preferencia marca, conexión emocional marca, participación programas fidelización.

2.5 Evaluación de validez y confiabilidad

En esta subsección se describen los procedimientos empleados para evaluar la validez y confiabilidad del instrumento. La validez de contenido se estableció mediante juicio de expertos, con la participación de tres especialistas en sistemas de información y marketing, alcanzándose coeficientes V de Aiken superiores a 0.80 en todos los ítems. Posteriormente, se realizó un Análisis Factorial Confirmatorio (α / CR) para validar la estructura dimensional del modelo, obteniéndose índices de ajuste satisfactorios ($\chi^2/g1 = 2.74$, CFI = 0.93, TLI = 0.91, RMSEA = 0.067 con IC del 90% [0.062, 0.072], y SRMR = 0.054). La consistencia interna del instrumento superó los umbrales recomendados, como se muestra en la Tabla 3. Asimismo, la validez convergente se confirmó mediante valores de Varianza Media Extraída (VME) superiores a 0.50 en todos los constructos, mientras que la validez discriminante se verificó a través del criterio de Fornell-Larcker y del ratio heterotrait-monotrait (HTMT < 0.85). De esta manera, los resultados evidencian propiedades psicométricas adecuadas, con valores de alfa de Cronbach y confiabilidad compuesta superiores a 0.70, de acuerdo con los criterios establecidos en la literatura [26].

Tabla 3. Métricas de confiabilidad y validez convergente

Constructo	α / CR	VME
Sistemas de Información de Marketing Digital	0.89 / 0.91	0.58
Satisfacción del Cliente	0.92 / 0.93	0.63
Lealtad del Cliente	0.88 / 0.89	0.61

2.6 Estrategia de análisis de datos

En este apartado se describe la estrategia analítica adoptada para contrastar el modelo propuesto. Se empleó el modelamiento de ecuaciones estructurales mediante mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM), implementado con el software SmartPLS 4. Este enfoque fue seleccionado por su robustez frente a distribuciones no normales, su capacidad para estimar modelos complejos con múltiples relaciones simultáneas y su adecuación para investigaciones con énfasis predictivo [7].

El análisis se desarrolló en dos etapas. En primer lugar, se evaluó el modelo de medición. En segundo lugar, se estimó el modelo estructural, donde la lealtad del cliente se modeló como una función del uso del sistema de información de marketing digital y de la satisfacción del cliente, tal como se expresa en la Ecuación (1). De manera complementaria, la satisfacción del cliente se explicó a partir del uso del sistema, como se indica en la Ecuación (2). Los coeficientes de trayectoria (β) se estimaron mediante bootstrapping con 5,000 submuestras para evaluar su significancia estadística.

$$LC = \beta_1 SIMD + \beta_2 SC + \varepsilon \quad (1)$$

$$SC = \beta_3 SIMD + \varepsilon \quad (2)$$

El poder predictivo del modelo se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2) y el criterio de relevancia predictiva de Stone–Geisser (Q^2), mientras que los tamaños de efecto se cuantificaron usando el estadístico f^2 de Cohen. El análisis de mediación siguió el procedimiento propuesto por Hair et al. [27], comparando los efectos directos, indirectos y totales para determinar el tipo de mediación existente.

2.7 Consideraciones éticas

El protocolo de estudio se adhirió a la Declaración de Helsinki y directrices del comité de revisión institucional para investigación con sujetos humanos. Se obtuvo consentimiento informado de todos los participantes después de explicar claramente los objetivos de investigación, participación voluntaria, derechos de retiro y medidas de protección de datos. El anonimato de los participantes se aseguró mediante codificación numérica, con cuestionarios físicos asegurados en almacenamiento de acceso restringido y datos digitales encriptados usando estándar AES-256. El equipo de investigación mantuvo derechos exclusivos de acceso a datos, con uso limitado estrictamente a propósitos de investigación declarados. No se identificaron conflictos de interés.

III. RESULTADOS

Esta sección presenta los hallazgos empíricos derivados de una encuesta realizada a 384 clientes de tiendas de ropa en centros comerciales ubicados en Tumbes, Perú. El análisis se centra en examinar las relaciones entre tres constructos clave: marketing digital, satisfacción del cliente y lealtad del cliente. Los resultados se organizan en cuatro subsecciones que abordan el objetivo general y tres objetivos específicos, presentando estadísticas descriptivas, análisis de correlación y pruebas de hipótesis utilizando el coeficiente de correlación de rangos de Spearman. La significancia estadística se evaluó a un nivel de $\alpha = 0.01$.

3.1 La satisfacción del cliente en la relación entre el marketing digital y la lealtad del cliente

Para abordar el objetivo general de analizar el rol mediador de la satisfacción del cliente en la relación entre el marketing digital y la lealtad del cliente, primero se examinaron los patrones de distribución de las tres variables. La Tabla 4 presenta la distribución de frecuencias de los encuestados a través de tres niveles (bajo, medio y alto) para cada constructo.

Tabla 4. Distribución del marketing digital, satisfacción del cliente y lealtad del cliente por nivel

Nivel	Rango	Marketing Digital		Satisfacción		Lealtad	
		n	%	n	%	n	%
Alto	4.1-5	105	28%	118	31%	98	26%
Medio	3.1-4	220	57%	230	60%	212	55%
Bajo	1-3	59	15%	36	9%	74	19%
Total		384	100%	384	100%	384	100%

Como se muestra en la Tabla 4, la mayoría de los encuestados calificó las tres variables en niveles medios, con 57% para marketing digital, 60% para satisfacción del cliente y 55% para lealtad del cliente. Esta agrupación sugiere un patrón consistente entre los constructos. Notablemente, los niveles altos de marketing digital (28%) correspondieron con alta satisfacción del cliente (31%) y alta lealtad del cliente (26%), indicando una asociación positiva. Por el contrario, la percepción baja de marketing digital (15%) se asoció con una satisfacción reducida (9%) y lealtad (19%), aunque la disminución de la lealtad fue más pronunciada. Estos patrones distribucionales proporcionan evidencia preliminar de relaciones interconectadas entre las tres variables, sugiriendo que las iniciativas de marketing digital pueden influir en los resultados de los clientes a través de vías tanto directas como indirectas. La Figura 2 proporciona una representación visual de estos patrones de distribución.

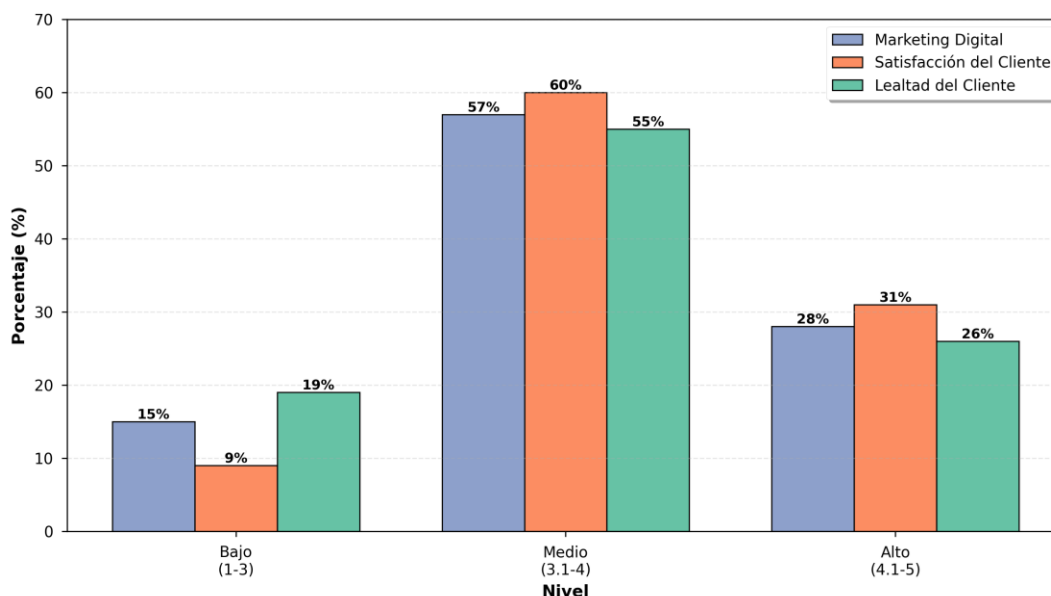


Figura 2. Distribución de los niveles de marketing digital

Para probar formalmente las relaciones hipotéticas, se realizaron análisis de correlación utilizando el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (ρ), que es apropiado para datos ordinales y no asume distribución normal. La hipótesis nula (H_0) estableció que no existe una relación significativa entre el marketing digital, la satisfacción del cliente y la lealtad del cliente. La hipótesis alternativa (H_1) propuso que estas variables están positiva y significativamente relacionadas, con la satisfacción del cliente mediando la relación entre el marketing digital y la lealtad del cliente. La Tabla 5 presenta la matriz de correlación para las tres variables.

Tabla 5. Matriz de Correlación de Spearman

Variable	Estadístico	Marketing Digital	Satisfacción del Cliente	Lealtad del Cliente
Marketing Digital	Rho	1.000	0.740**	0.665**
	Valor p	—	<0.001	<0.001
	n	384	384	384
Satisfacción del Cliente	Rho	0.740**	1.000	0.831**
	Valor p	<0.001	—	<0.001
	n	384	384	384
Lealtad del Cliente	Rho	0.665**	0.831**	1.000
	Valor p	<0.001	<0.001	—
	n	384	384	384

Nota: ** Correlación significativa al nivel $p < 0.01$ (bilateral)

El análisis de correlación indicó la existencia de relaciones entre las tres variables de forma positiva y significativa (ver Tabla 5). La relación que exploraba el marketing digital y la satisfacción del cliente resultó en un coeficiente de correlación también considerable ($\rho = 0.740$, $p < 0.001$), ya que se precisó que las estrategias del marketing digital mejoradas estaban fuertemente correlacionadas con un mayor nivel de satisfacción del cliente también. Así mismo, el marketing digital también muestra una relación directa moderadamente fuerte con la lealtad del cliente ($\rho = 0.665$, $p < 0.001$). Sin embargo, más evidente fue la correlación positiva muy fuerte relacionada anteriormente de la satisfacción del cliente- y la lealtad del cliente ($\rho = 0.831$, $p < 0.001$), lo que significa que la satisfacción del cliente puede considerarse como un buen predictor de la lealtad del cliente. Todas las correlaciones se consideraron estadísticamente significativas a un nivel del 1%, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa. A partir de los resultados, podemos sostener con un alto nivel de confianza que la satisfacción del cliente puede considerarse como una mediadora de la relación del marketing digital con la lealtad del cliente, dado que la relación satisfacción-lealtad ($\rho = 0.831$) es más fuerte que la relación directa marketing digital con la lealtad ($\rho = 0.665$). La figura 3 ilustra esas relaciones en un mapa de calor de correlaciones, y la figura 4 presenta el modelo conceptual de mediación.



Figura 3. Mapa de Calor de Correlación de Spearman ($n=384$, $p<0.01$)

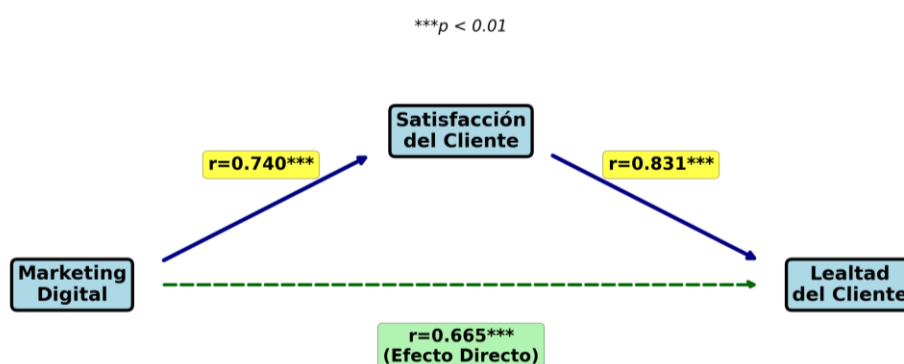


Figura 4. Modelo Conceptual de Mediación

3.2 Influencia directa del marketing digital en la lealtad del cliente

El primer objetivo específico examinó la influencia directa del marketing digital en la lealtad del cliente sin considerar variables mediadoras. Este análisis permite comprender el efecto no mediado de las estrategias de marketing digital en la retención de clientes y el comportamiento de recompra. La Tabla 6 presenta la distribución cruzada de los niveles de marketing digital y lealtad del cliente.

Tabla 6. Distribución del marketing digital y lealtad del cliente por nivel

Nivel	Rango	Marketing Digital		Lealtad del Cliente	
		n	%	n	%
Alto	4.1-5	105	28%	98	26%
Medio	3.1-4	220	57%	212	55%
Bajo	1-3	59	15%	74	19%
Total		384	100%	384	100%

La Tabla 6 demuestra una clara asociación positiva entre el marketing digital y la lealtad del cliente. La mayoría de los encuestados (57%) percibió niveles medios de efectividad del marketing digital, con un 55% correspondiente exhibiendo niveles medios de lealtad. Entre aquellos que perciben alta calidad del marketing digital (28%), el 26% demostró alta lealtad, reflejando solo una diferencia de 2 puntos porcentuales. Sin embargo, emergió un patrón notable en los niveles más bajos: mientras que el 15% percibió bajo marketing digital, el 19% exhibió baja lealtad, sugiriendo que los esfuerzos inadecuados de marketing digital pueden tener efectos negativos más pronunciados en la lealtad que los efectos beneficiosos de los esfuerzos positivos. Esta asimetría amerita mayor investigación en estudios posteriores. Para probar la hipótesis de que el marketing digital influye positivamente en la lealtad del cliente ($H_1: \beta > 0, p < 0.01$), se calculó el coeficiente de correlación de Spearman. La hipótesis nula (H_0) postuló que no existe una relación significativa entre estas variables. La Tabla 7 presenta los resultados del análisis de correlación.

Tabla 7. Correlación entre marketing digital y lealtad del cliente

Variable	Estadístico	Marketing Digital	Lealtad del Cliente
Marketing Digital	Rho	1.000	0.665**
	Valor p	—	<0.001
	n	384	384
Lealtad del Cliente	Rho	0.665**	1.000
	Valor p	<0.001	—
	n	384	384

Nota: ** Correlación significativa al nivel $p < 0.01$ (bilateral)

Los resultados del análisis correlacional (Tabla 7) muestran una relación positiva ($\rho = 0.665, p < 0.001$), moderadamente fuerte, entre el marketing digital y lealtad del cliente, lo que también significa que el 44% de la varianza en la lealtad del cliente puede explicarse por el marketing digital (considerando ρ^2 como una estimación del tamaño del efecto de la correlación). La significancia estadística considerando $p < 0.001$, se traduce en una fuerte evidencia de rechazo de H_0 e instrucción de H_1 afirmando que el marketing digital influye positivamente y de forma significativa en la lealtad del cliente en contextos de retail y, por tanto, las inversiones en marketing digital como el “engagement” en redes sociales, campañas de email personalizadas, aplicaciones móviles, y elementos interactivos en sitios web, hacen posible el retorno medido en términos de fidelidad y de intenciones de recompra.

3.3 Efecto del marketing digital en la satisfacción del cliente

El segundo objetivo específico investigó cómo el marketing digital influye en la satisfacción del cliente, reconociendo que la satisfacción representa un estado psicológico intermedio importante en el proceso de toma de decisiones del consumidor. Comprender esta relación es crucial para identificar los mecanismos a través de los cuales el marketing digital finalmente afecta la lealtad. La Tabla 8 presenta la correspondencia distribucional entre el marketing digital y la satisfacción del cliente.

Tabla 8. Distribución del marketing digital y satisfacción del cliente por nivel

Nivel	Rango	Marketing Digital		Satisfacción del Cliente	
		n	%	n	%
Alto	4.1-5	105	28%	118	31%
Medio	3.1-4	220	57%	230	60%
Bajo	1-3	59	15%	36	9%
Total		384	100%	384	100%

La Tabla 8 pone de manifiesto una alta correlación positiva entre el marketing digital, por un lado, y la satisfacción del cliente, por otro. Una vez más, los niveles medios dominaron ambas variables, con un 57% que percibía el marketing digital con calidad media, mientras que un 60% manifestaron satisfacción de nivel medio. Precisamente, las percepciones de marketing digital alto (un 28%) se correspondían con un nivel general de satisfacción también alto (un 31%), con aumento de 3 puntos porcentuales. De forma significativa, el marketing digital bajo (que obtuvo un 15%) tuvo la respuesta más baja en satisfacción (que aquí se computó con un 9%), experimentando una pérdida de hasta 6 puntos porcentuales. Este patrón asimétrico indica que las malas experiencias de marketing digital ejercen un efecto negativo más fuerte sobre la satisfacción que el efecto positivo de una experiencia excelente, enfatizando la importancia crítica de lograr una calidad mínima del servicio digital. Para testar si el marketing digital ejercía un efecto positivo muy significativo sobre la satisfacción, esto es, $H_2: \beta > 0, p < 0.01$, fue sometido a un análisis de correlación. La hipótesis nula (H_0) planteaba que no había ninguna relación entre los dos constructos. Los resultados, tal como pueden evidenciar en la Tabla 9.

Tabla 9. Correlación entre marketing digital y satisfacción del cliente

Variable	Estadístico	Marketing Digital	Satisfacción del Cliente
Marketing Digital	Rho	1.000	0.740**
	Valor p	—	<0.001
	n	384	384
Satisfacción del Cliente	Rho	0.740**	1.000
	Valor p	<0.001	—
	n	384	384

Nota: ** Correlación significativa al nivel $p < 0.01$ (bilateral)

El análisis de correlación expuesto en la Tabla 9 demostró una relación positiva fuerte entre el marketing digital y la satisfacción del cliente ($\rho = 0.740, p < 0.001$). Este coeficiente es notablemente más alto que la relación directa marketing digital-lealtad ($\rho = 0.665$), sugiriendo que la influencia del marketing digital en la lealtad puede estar parcialmente mediada a través de la satisfacción. Con un tamaño del efecto de aproximadamente 55% (ρ^2), el marketing digital representa una porción sustancial de la varianza en la satisfacción del cliente. El valor p altamente significativo ($p < 0.001$) proporciona evidencia convincente para rechazar la hipótesis nula, confirmando que el marketing digital mejora significativamente la satisfacción del cliente. Este hallazgo subraya la importancia del diseño de la experiencia del usuario, la relevancia del contenido, la personalización y la integración omnicanal fluida en las estrategias de marketing digital para negocios de retail de moda.

3.4 Impacto de la satisfacción del cliente en la lealtad del cliente

El tercero de los objetivos específicos pretendía evaluar el impacto de la satisfacción del cliente sobre la lealtad de los clientes, o bien, la segunda relación que subyace en el modelo de mediación que estamos evaluando. Una relación que encuentra su fundamentación desde un punto de vista teórico en la base de la teoría de la desconfirmación de expectativas y la del “servicio-benefit”, entre las que se encuentran las que proponen la satisfacción como uno de los antecedentes primarios de las conductas leales. La Tabla 10 permite encontrar la distribución de la satisfacción y la lealtad conforme al nivel de respuesta.

Tabla 10. Distribución de la satisfacción del cliente y lealtad del cliente por nivel

Nivel	Rango	Satisfacción del Cliente		Lealtad del Cliente	
		n	%	n	%
Alto	4.1-5	118	31%	98	26%
Medio	3.1-4	230	60%	212	55%
Bajo	1-3	36	9%	74	19%
Total		384	100%	384	100%

La Tabla 10 ilustra una relación positiva robusta entre la satisfacción del cliente y la lealtad. Entre los clientes altamente satisfechos (31%), el 26% exhibió alta lealtad, representando una tasa de conversión del 84% de satisfacción a lealtad en el nivel alto. Similarmente, el 60% de los clientes reportó satisfacción media, con 55% demostrando lealtad media (92% de conversión). Sin embargo, emergió un patrón preocupante en los niveles más bajos: solo el 9% reportó baja satisfacción, pero el 19% exhibió baja lealtad. Esta disparidad sugiere que factores más allá de la satisfacción—potencialmente incluyendo costos de cambio, falta de alternativas o inercia pueden contribuir a los resultados de lealtad. No obstante, el patrón predominante confirma que niveles más altos de satisfacción están fuertemente asociados con mayor lealtad del cliente. Para probar la hipótesis de que la satisfacción del cliente influye positivamente en la lealtad del cliente ($H_3: \beta > 0, p < 0.01$), se realizó un análisis de correlación. La hipótesis nula (H_0) propuso que no existe una relación significativa. La Tabla 11 presenta los resultados estadísticos.

Tabla 11. Correlación entre satisfacción del cliente y lealtad del cliente

Variable	Estadístico	Satisfacción del Cliente	Lealtad del Cliente
Satisfacción del Cliente	Rho	1.000	0.831**
	Valor p	—	<0.001
	n	384	384
Lealtad del Cliente	Rho	0.831**	1.000
	Valor p	<0.001	—
	n	384	384

Nota: ** Correlación significativa al nivel $p < 0.01$ (bilateral)

El análisis de correlación (Tabla 8) arrojó la relación más fuerte observada en este estudio: la satisfacción del cliente y la lealtad del cliente exhibieron una correlación positiva muy fuerte ($\rho = 0.831, p < 0.001$). Este coeficiente, el más alto entre todas las relaciones probadas, indica que aproximadamente el 69% de la varianza en la lealtad del cliente puede explicarse por la satisfacción del cliente (ρ^2). El valor p extremadamente bajo ($p < 0.001$) proporciona evidencia estadística abrumadora para rechazar la hipótesis nula, confirmando que la satisfacción del cliente es un determinante poderoso de la lealtad del cliente. Este hallazgo es consistente con la extensa literatura en comportamiento del consumidor y marketing relacional, que consistentemente identifica la satisfacción como un precursor crítico de comportamientos de lealtad como recompras repetidas, boca a boca positivo y resistencia a ofertas competitivas. La Figura 4 proporciona una visualización comparativa de las tres variables a través de los niveles, facilitando la interpretación holística de las relaciones examinadas en este estudio.

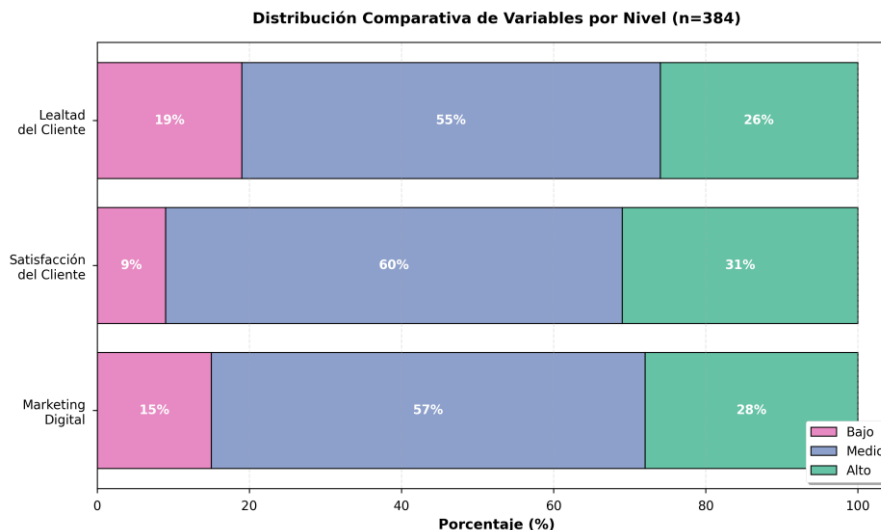


Figura 5. Distribución comparativa de variables por nivel (n=384)

En síntesis, los resultados, que están expuestos a través de éstas cuatro subsecciones, son el primer soporte empírico el modelo de mediación diseñado en este estudio. El marketing digital tiene efectos directos muy importantes sobre la satisfacción del cliente ($\rho = 0.740$) y también sobre la lealtad del cliente ($\rho = 0.665$), a su vez, la satisfacción del cliente se relaciona de forma más robusta con la lealtad del cliente ($\rho = 0.831$). Esta pauta de correlaciones —en especial que la relación satisfacción-lealtad supere a la relación directa marketing digital-lealtad— se puede interpretar como analítica de mediación parcial. Esto nos hace concluir que, aunque el marketing digital puede tener un efecto directo que llegue a la lealtad del cliente, sus efectos se ven multiplicados cuando son mediados a través de una satisfacción del cliente. Este proceso deja claro que una de las estrategias de marketing digital que hay que implementar es hacer hincapié en que ese marketing digital tiene que diseñarse estratégicamente, priorizando la experiencia del cliente, el “engagement” y la satisfacción como resultados intermedios y no solo en los resultados asociados a las tasas de conversión.

3.5 Estrategias para la implementación de sistemas de información de marketing digital

Basándonos en las pruebas anteriores que demuestran relaciones significativas entre marketing digital, satisfacción con el cliente y la lealtad del cliente ($\rho = 0.665$ a 0.831 , $p < 0.001$), esta subsección proporciona recomendaciones basadas en la evidencia para la implementación y mejora de sistemas de información empresariales destinados al marketing digital en las operaciones minoristas de los mercados emergentes. La Figura 6 incluye un marco integrado que vincula seis dimensiones estratégicas fundamentales, que corresponden respectivamente a la triada satisfechos, la lealtad del cliente y el marketing en los mercados emergentes.



Figura 6. Framework integrado de implementación de sistemas de marketing digital

Desde un enfoque tecnológico, mediante la Figura 7 se dispone de una matriz priorizadora estratégica que permite realizar la evaluación y priorización de las iniciativas digitales, en función de los dos ejes de decisión organizacional que son el impacto potencial en el negocio y la complejidad de la implementación tecnológica. Este enfoque supone toda una indudable preeminencia en el contexto de la transformación digital, ya que aquí los recursos tecnológicos, humanos y financieros son los más escasos y, por lo tanto, debe procederse a su óptima asignación para maximizar el valor entregado. La matriz posibilita una lectura sistémica del portafolio digital, permitiendo poder diferenciar entre iniciativas de rápida ejecución apoyadas en tecnologías maduras y proyectos más sofisticados que necesitarían arquitecturas de diseño más avanzadas, integración de datos y capacidades analíticas de mayor nivel.

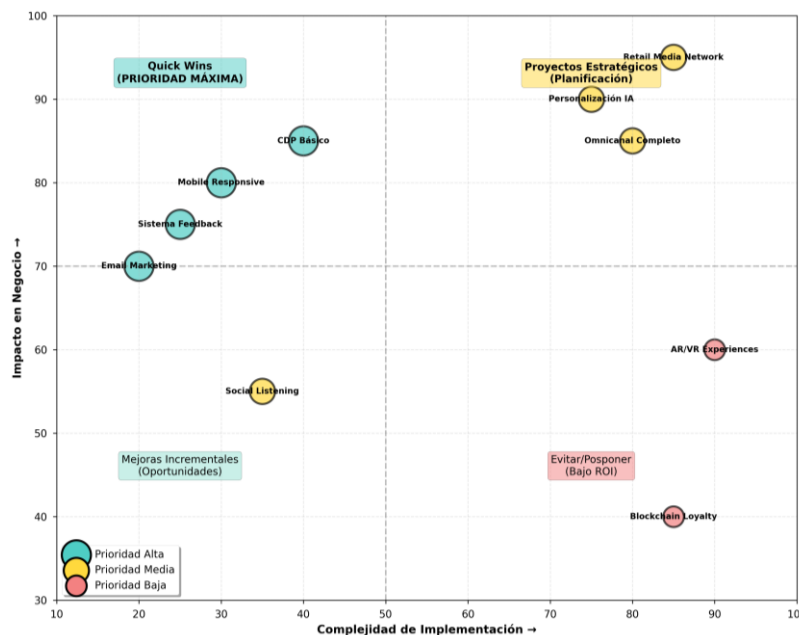


Figura 7. Matriz de priorización: impacto vs. complejidad de iniciativas digitales

Las iniciativas que se localizan dentro del cuadrante de alta prioridad o “quick wins” se recogen en la Figura 7 y están caracterizadas por una combinación de consistente impacto en el negocio, a la par con una complejidad tecnológica extraordinariamente baja o, al menos, baja a moderada, tal como los ejemplos de plataformas de email marketing, sistemas de feedback automatizado, diseño responsive y soluciones básicas de CRM. En la esencia de este grupo de tecnologías se encuentra la infraestructura digital, muy consolidada en las organizaciones, para conseguir retornos muy rápidos mediante la mejora de la experiencia del cliente, de la eficiencia de la organización y de la capacidad de respuesta de esta misma organización. En cambio, dentro del cuadrante de los proyectos estratégicos se posicionan aquellas iniciativas con elevadísimo impacto pero muy alta complejidad tecnológica, tales como la personalización basada en IA, la integración omnicanal completa, o el retail media basado en el desarrollo de redes, que requieren arquitecturas de datos avanzadas, capacidades de machine learning, interoperabilidad entre sistemas y larga gobernanza en tecnologías, por lo que precisan de planificación por fases y visión a largo plazo.

Por otro lado, la matriz también presenta mejoras incrementales asociadas a tecnologías como “social listening” que, aunque presentan una dificultad media, pero a la vez llevan a resultados incrementales y complementarios de un ecosistema digital existente, influyendo en las decisiones basadas en datos y ayudando a la adaptación continua de las estrategias de marketing.

Por último, el cuadrante de retorno bajo donde se encuentran iniciativas como “blockchain” aplicado a programas de lealtad o experiencia inmersiva AR y VR describe proyectos de alta complejidad y bajo retorno en el corto plazo lo que devela la cautela que se debe tener hacia los mismos, desde una óptica de la madurez tecnológica, la alineación estratégica y la viabilidad organizacional.

Con el objetivo de complementar los elementos ya expuestos en este apartado, vamos a analizar los sistemas de marketing digital desde una perspectiva tecnológica y evolutiva. La Figura 8 muestra un mapa de la implementación del marketing digital estructurada en fases sucesivas que dan cuenta de distintos niveles de madurez organizacional a las que las empresa pueden ir progresando, desde capacidades digitales iniciales hasta planteamientos de innovación tecnológica más complejos de un modo estructurado. Este modelo de transición se basa en una lógica incremental, ya que cada fase hereda ciertos aspectos o, dicho de otro modo, va asumiendo los cimientos tecnológicos que atestiguan la viabilidad de la siguiente fase, minimizando los riesgos de adopción y garantizando una distribución en alineación entre la infraestructura, la analítica y la estrategia de negocio.

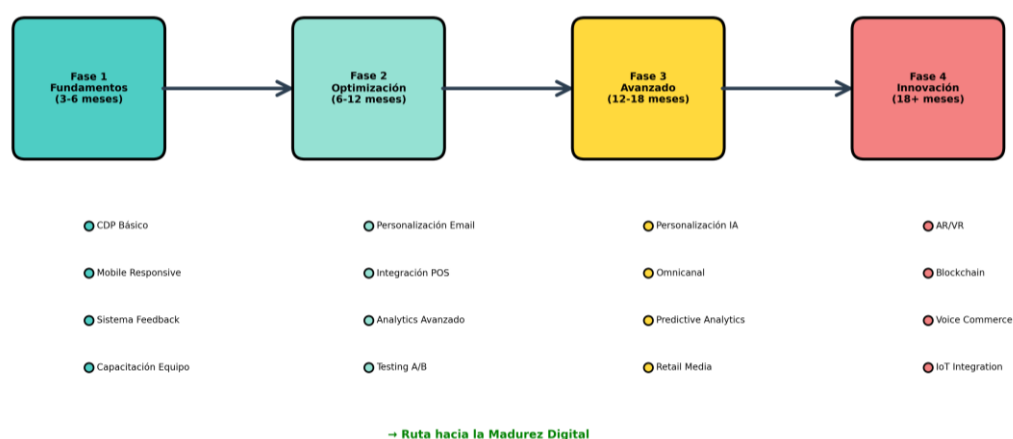


Figura 8. Roadmap tecnológico de madurez digital para la implementación del marketing digital

En la fase de fundamentos, se ha considerado como los primeros meses de la implementación y que representa la primera de las fases, para bien de la atención plena. Por tanto, la Figura 8 destaca la incorporación de tecnologías básicas pero imprescindibles como arquitecturas de datos del cliente, diseño mobile responsive, sistemas automatizados de feedback, procedimientos de formación del equipo, así como establecer una sólida base de operaciones que dé soporte a la experiencia de uso. La fase de optimización se enfoca en las integraciones tecnológicas a partir de la personalización de las comunicaciones digitales, la conexión con los sistemas de tipo transaccional, la analítica avanzada o la experiencia controlada por las pruebas AB, reforzando así la toma de decisiones basadas en datos y la eficiencia de los procesos digitales. Mientras que, la etapa avanzada se centra en la incorporación de capacidades de mayor sofisticación tecnológica como la personalización en base a la inteligencia artificial, las estrategias omnicanal integradas, la analítica predictiva o las plataformas de retail media, las cuales requieren arquitecturas de datos del cliente sólidas, estableciendo modelos de aprendizaje automático y una gobernanza digital madura. Así mismo, la fase de innovación representa el nivel más alto de madurez tecnológica donde experimentan tecnologías emergentes como las experiencias inmersivas AR y VR, el blockchain aplicado a los programas de fidelización, el comercio por voz o la integración de dispositivos IoT, marcando así un espacio digital muy inteligente y adaptativo.

IV. DISCUSIÓN

Esta sección interpreta los hallazgos empíricos presentados en la sección de Resultados, contrastándolos con la literatura científica contemporánea y discutiendo sus implicaciones teóricas y prácticas. La discusión se estructura en cuatro subsecciones que corresponden a los objetivos de investigación, seguidas de una reflexión sobre las limitaciones del estudio y direcciones futuras de investigación. A través de este análisis crítico, se busca posicionar los hallazgos dentro del contexto más amplio del sistema de marketing digital, la satisfacción del cliente y la lealtad en el sector retail de moda.

4.1 Satisfacción del cliente como mediadora

Los resultados de este estudio confirman que la satisfacción del cliente desempeña un rol mediador significativo en la relación entre el marketing digital y la lealtad del cliente, como lo evidencian los coeficientes de correlación obtenidos (marketing digital-satisfacción: $\rho = 0.740$, satisfacción-lealtad: $\rho = 0.831$ y marketing digital-lealtad: $\rho = 0.665$). Este patrón de relaciones, donde la correlación satisfacción-lealtad excede la correlación directa marketing digital-lealtad, proporciona evidencia robusta de mediación parcial, consistente con los modelos teóricos propuestos por la teoría de la desconfirmación de expectativas y la cadena servicio-beneficio. Estos hallazgos convergen notablemente con investigaciones recientes en contextos similares. Diansyah y Nadya [28] confirmaron que el marketing digital tiene un efecto significativo en las decisiones de compra, con la satisfacción del cliente actuando como variable mediadora en el sector de alimentos y bebidas. De manera similar, Mohammad [29] enfatizó cómo el éxito del marketing digital puede mejorar la lealtad del cliente a través de una gestión de relaciones más personalizada y efectiva. La convergencia de nuestros resultados con estos estudios evidencia que el efecto mediador de la satisfacción no es específico del contexto geográfico o del sector industrial, sino que representa un mecanismo psicológico fundamental en la experiencia del consumidor digital.

Un hallazgo particularmente relevante del estudio es la magnitud del efecto mediador. La satisfacción del cliente explica aproximadamente el 69% de la varianza en la lealtad del cliente ($\rho^2 = 0.831^2 = 0.69$), lo que demuestra que es un predictor excepcionalmente potente. Este resultado resuena con los hallazgos de Mokhtar et al. [30] quienes encontraron que la calidad de la relación con el cliente (que incluye satisfacción, compromiso y confianza) media completamente la relación entre las actividades de marketing en redes sociales y la lealtad del cliente en el comercio electrónico. La consistencia entre estudios expone que las empresas que buscan construir lealtad a largo plazo deben priorizar estratégicamente la satisfacción del cliente como un resultado intermedio crítico, en lugar de enfocarse exclusivamente en métricas de conversión inmediata. Sin embargo, es importante reconocer que el marketing digital mantiene un efecto directo significativo sobre la lealtad ($\rho = 0.665$), lo que indica mediación parcial en lugar de mediación completa. Por tanto, la existencia de vías adicionales a través de las cuales el marketing digital influye en la lealtad, posiblemente incluyendo el reconocimiento de marca, la conveniencia percibida, o el costo de cambio. En esta línea, investigaciones futuras deberían explorar estos mecanismos alternativos mediante modelos de mediación serial o paralela que incorporen múltiples mediadores simultáneamente.

4.2 Impacto directo del marketing digital en la lealtad del cliente

El efecto directo que el marketing digital produce en la lealtad del cliente ($\rho = 0.665$, $p < 0.001$) representa un hallazgo considerable, que da soporte al papel estratégico que las inversiones en marketing digital para el sector retail de moda pueden llegar a tener. Este coeficiente nos indica que aproximadamente el 44% de la varianza en la lealtad del cliente puede ser explicada de manera directa a partir de las percepciones del marketing digital, presentando, en consecuencia, un tamaño del efecto que puede ser considerado medio a fuerte según los umbrales convencionales en ciencias

sociales. Estos resultados son consistentes con la literatura emergente sobre marketing digital y lealtad. Kurniawan et al. [31] encontraron que el marketing digital desempeña un rol crucial en el mantenimiento de la lealtad de los clientes millennials en el marketplace Tokopedia Indonesia, mediado por la satisfacción y confianza del cliente. De manera similar, un estudio recientes en el sector de comercio electrónico [32] ha demostrado que las estrategias de marketing digital influyen significativamente en la lealtad del cliente debido a su capacidad de proporcionar accesibilidad global, personalización y experiencias customizadas. Jung y Shegai [33] añaden que la innovación en marketing digital impacta positivamente el desempeño empresarial mediado por las capacidades de marketing.

En este camino, un patrón interesante que emergente de nuestros datos es la asimetría en los efectos del marketing digital. Mientras que el 28% de los encuestados que perciben alto marketing digital corresponden con el 26% que muestra alta lealtad (una diferencia de 2 puntos porcentuales), el 15% que percibe bajo marketing digital corresponde con el 19% que exhibe baja lealtad (una diferencia de 4 puntos porcentuales). Esta asimetría evidencia que las experiencias digitales negativas tienen un impacto desproporcionadamente mayor en la erosión de la lealtad que el impacto positivo de las experiencias excelentes. Este fenómeno puede explicarse a través de la teoría de la negatividad en psicología del consumidor, relacionada a los eventos negativos y el impacto psicológico mayor que los eventos positivos equivalentes demuestran en este tipo de escenarios.

4.3 Marketing digital y satisfacción del cliente

La relación entre el marketing digital y la satisfacción del cliente ($\rho = 0.740$, $p < 0.001$) representa uno de los hallazgos más robustos de este estudio, explicando aproximadamente el 55% de la varianza en la satisfacción del cliente. Este coeficiente, notablemente más alto que la relación directa marketing digital-lealtad, subraya la importancia de la satisfacción como un mecanismo psicológico clave a través del cual el marketing digital ejerce su influencia. Estos resultados se alinean estrechamente con investigaciones recientes que han explorado los determinantes de la satisfacción en contextos digitales. Bachri et al. [34] demostraron que el marketing digital influye en la satisfacción del cliente mediado por decisiones de compra, mientras que Sd et al. [35] encontraron que el marketing digital tiene un impacto significativo en la satisfacción del cliente en la industria hotelera. La consistencia entre sectores (retail de moda, hospitalidad, comercio electrónico) evidencia que los mecanismos subyacentes son relativamente universales y se basan en principios fundamentales de la experiencia del usuario digital.

Así, el análisis descriptivo pone de manifiesto un patrón asimétrico más que notable, ya que el 28% de las personas que perciben alto marketing digital corresponde con el 31% que reportan alta satisfacción (+3 puntos porcentuales), el 15% que perciben bajo marketing digital sólo correspondería con el 9% que reporta baja satisfacción (-6 puntos porcentuales). Esta asimetría es aún más acusada que la que observamos para la relación marketing digital-lealtad, indicando que la satisfacción es especialmente sensible a la falta de calidad de marketing digital. Por lo tanto, esta situación podría entenderse a partir del marco de partida conceptual de calidad del servicio electrónico, el cual pone el foco en la satisfacción del cliente en entornos digitales y que depende de factores como facilidad de uso, diseño web, personalización, capacidad de respuesta y seguridad percibida entre otros. Cuando en ellos se producen fallos, la insatisfacción puede llegar a ser elevada porque las personas cliente mantienen expectativas cada vez más altas para las experiencias digitales en el contexto contemporáneo. Como señalan Onibokun et al. [36], el marketing personalizado tiene un impacto inequívocamente positivo en la satisfacción del cliente cuando se ejecuta correctamente, pero la falta de personalización o las experiencias digitales genéricas pueden generar frustración significativa. En este contexto, los hallazgos subrayan la importancia de invertir en la experiencia del usuario digital

como una prioridad estratégica. Las áreas clave de inversión deberían incluir un diseño de interfaz intuitivo y responsivo, personalización basada en datos de comportamiento del cliente, contenido relevante y de alta calidad, integración omnicanal fluida y capacidad de respuesta en servicio al cliente digital.

4.4 Relación satisfacción-lealtad

La correlación entre la satisfacción del cliente y la lealtad del cliente ($\rho = 0.831$, $p < 0.001$) representa la relación más fuerte observada en este estudio y uno de los hallazgos más significativos desde una perspectiva teórica y práctica. Este coeficiente indica que aproximadamente el 69% de la varianza en la lealtad del cliente puede explicarse por la satisfacción del cliente, un tamaño del efecto que puede considerarse muy grande según los estándares convencionales. Este hallazgo es ampliamente consistente con décadas de investigación en comportamiento del consumidor y marketing relacional. La satisfacción del cliente ha sido identificada repetidamente como un antecedente crítico de la lealtad del cliente en diversos contextos. Por ejemplo, El-Shihy et al. [37] encontraron que la satisfacción del cliente media significativamente la relación entre el valor percibido, la confianza y la lealtad del cliente en el retail de moda online en Egipto. De manera similar, Hennig-Thurau et al. [38] revelaron que la ruta de influencia del marketing relacional en la retención de clientes opera a través de la confianza y satisfacción del cliente. En esta misma línea, Ajina et al. [39] confirmaron estos hallazgos en el contexto de billeteras digitales, demostrando que la calidad del e-service impacta la lealtad mediada por la satisfacción.

No obstante, un hecho curioso que ofrecen nuestros datos, es la discrepancia registrada entre los niveles de satisfacción y lealtad en el extremo inferior de la escala, mientras que sólo un 9% mostraba escasa satisfacción, un 19% llegaba a mostrar escasa lealtad, o lo que es lo mismo, una diferencia de 10 puntos entre los dos niveles citado. Esta diferencia en las cifras expone el hecho de que la insatisfacción no es el único motivador que puede llevar a la baja lealtad. Otros motivos como, por ejemplo, los costes de cambio, la escasez de opciones, la inercia del consumidor o cualquier tipo de contextualización pueden estar contribuyendo a mantener a los clientes en la baja lealtad aun con niveles de satisfacción moderados. Entonces, el fenómeno observado puede ser explicado desde la distinción conceptual que existe entre la lealtad verdadera (la que se basa en actitudes positivas y en el compromiso emocional) y la lealtad espuria (la que se basa por la existencia de barreras a la salida de la relación o a la escasez de opciones). Oliver [25] propone un modelo de lealtad a cuatro fases en el que existe una distinción entre lealtad cognitiva, lealtad afectiva, lealtad conativa y lealtad de acción. Este modelo también evidencia que la satisfacción es suficiente para generar una lealtad cognitiva pero es insuficiente para la lealtad de acción. Los nuestros hallazgos muestran que, en el contexto del retail de moda en Tumbes, aproximadamente un 10% de los clientes pueden estar en una situación de lealtad espuria o inercial, manteniendo la lealtad a pesar de no tener niveles óptimos de satisfacción.

Desde una perspectiva aplicada, este hallazgo posee implicaciones relevantes para la gestión estratégica de la lealtad del cliente en contextos altamente competitivos y crecientemente digitalizados, ya que los resultados evidencian que la satisfacción del cliente, entendida como una evaluación cognitiva posterior a la experiencia de consumo, no garantiza por sí sola una lealtad sostenida en el tiempo. En consecuencia, las organizaciones deben adoptar enfoques integrales apoyados en tecnologías digitales que permitan fortalecer la relación con el cliente de manera continua y personalizada, incorporando programas de lealtad habilitados por plataformas digitales y sistemas CRM que utilicen analítica de datos para ofrecer incentivos ajustados al comportamiento del consumidor, desarrollando vínculos emocionales con la marca mediante el uso de inteligencia artificial y análisis de sentimientos que superen la lógica transaccional, promoviendo comunidades

de marca en entornos digitales que favorezcan la interacción, la participación y el sentido de pertenencia, y consolidando una diferenciación clara sustentada en tecnologías de recomendación y automatización que reduzcan la probabilidad de migración hacia alternativas competitivas. En esta línea, Stathopoulou y Balabanis [40] señalan que los programas de lealtad efectivos en el retail de moda influyen simultáneamente en la satisfacción, la confianza y la lealtad del cliente, logrando un sistema reforzado de retención que, en el escenario actual, se ve potenciado por el uso estratégico de tecnologías digitales orientadas a una gestión predictiva, proactiva y centrada en el usuario.

4.5 Limitaciones y direcciones futuras de investigación

Pese a las contribuciones, el estudio adolece de varias limitaciones que deben ser reconocidas y que abren interesantes líneas de investigación futura. En primer lugar, la naturaleza transversal del estudio limita nuestra capacidad para establecer inferencias causales definitivas. A pesar de que los análisis de correlación aportan evidencias que sustentan la existencia de relaciones significativas y que el patrón de correlaciones que se recoge es coherente con la mediación teórica propuesta, no podemos descartar la posibilidad de la causalidad inversa o la existencia de variables confusoras no medidas. Segundo, la recolección de datos se limitó a clientes de tiendas de ropa en centros comerciales en Tumbes, Perú. Si bien esta focalización geográfica y sectorial permite un análisis profundo de un contexto específico, limita la generalización de los hallazgos a otros contextos geográficos, otros segmentos del retail de moda (por ejemplo, marcas de lujo versus moda rápida), u otros canales de compra (por ejemplo, puramente online versus omnicanal). Por último, el estudio se basó en medidas de auto-reporte para todas las variables, lo que introduce el potencial de sesgo de método común. Aunque se tomaron precauciones metodológicas (por ejemplo, asegurar el anonimato de los encuestados, utilizar escalas validadas), estudios futuros podrían fortalecer la validez de los hallazgos mediante la incorporación de medidas conductuales objetivas de lealtad (por ejemplo, datos de compras repetidas, valor de vida del cliente) complementando las medidas actitudinales utilizadas en este estudio.

V. CONCLUSIONES

Este estudio analizó el rol mediador de la satisfacción del cliente en la relación entre el marketing digital y la lealtad de clientes del retail de moda en Tumbes, Perú, a partir de una muestra de 384 participantes, evidenciando que el marketing digital influye de manera significativa en la lealtad tanto de forma directa como indirecta mediante la satisfacción del cliente, lo que confirma una mediación parcial y posiciona a la satisfacción como el principal mecanismo psicológico en la construcción de relaciones duraderas con la marca. Los resultados muestran también una asimetría importante de los efectos diferenciadores, ya que las deficiencias en el funcionamiento del marketing digital provocan un efecto negativo superior a lo que se ganaría beneficiándose de unas elevadas percepciones positivas, lo que refleja la necesidad de mantener unos estándares de calidad digital congruentes utilizando tecnologías como la analítica avanzada del dato, los sistemas de gestión de la experiencia del consumidor y las plataformas omnicanal que implementan, monitorizan y mejoran, de forma continuada, los puntos de contacto con el consumidor.

Desde la concepción estratégica y tecnológica de los hallazgos nos encontramos con el hecho de que las organizaciones deben entender el marketing digital como un ecosistema inteligente más que un conjunto de acciones independientes, y más bien como incorporar soluciones de inteligencia artificial para la personalización de los contenidos, la segmentación dinámica de clientes y la predicción de conductas de lealtad, así como usar la automatización y el machine learning para prevenir las fricciones y adaptar la propuesta de valor en tiempo real. En este sentido, la satisfacción del cliente debe estar en el nodo central de las arquitecturas digitales centradas en el dato, donde tecnologías como las de big data, sistemas de recomendación y modelos predictivos potencian la capacidad de

las empresas por construir una lealtad sostenible, a la vez que abren futuras líneas de investigación centradas en la integración de métricas algorítmicas, señales conductuales digitales y enfoques explicables de la inteligencia artificial para entender de una forma más precisa los procesos que subyacen a la lealtad del consumidor en entornos digitales.

Contribución de los autores:

Todos los autores han contribuido en el desarrollo del manuscrito de manera equitativa.

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional de Tumbes por brindar las facilidades para el desarrollo del estudio.

Financiamiento:

El estudio ha sido autofinanciado por los autores.

Declaración de consentimiento informado:

Los participantes brindaron su consentimiento durante la aplicación de los instrumentos de estudio.

Declaración de disponibilidad de datos:

Los datos pueden solicitarse mediante el correo de correspondencia.

Conflictos de intereses:

No existen conflictos de intereses.

Declaración de uso de IA:

Se aprovechó Claude AI para revisar el estilo, así como los aspectos lingüísticos concernientes al manuscrito presentado. El contenido académico es responsabilidad exclusiva de los autores.

REFERENCIAS





- [1] H. Gil-Gomez, V. Guerola-Navarro, R. Oltra-Badenes, and J. A. Lozano-Quilis, "Customer relationship management: digital transformation and sustainable business model innovation," *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, vol. 33, no. 1, pp. 2733–2750, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1676283>
- [2] Y. Ali Hassan, S. R. M. Zeebaree, and Energy Eng. Dept., Technical College of Engineering, Duhok Polytechnic University, Duhok, Iraq, "Big Data Cloud Computing and AI-Driven Digital Marketing in Enterprise Systems," *ETJ*, vol. 10, no. 04, Apr. 2025. <https://doi.org/10.47191/etj/v10i04.28>
- [3] R. U. Khan, Y. Salamzadeh, Q. Iqbal, and S. Yang, "The Impact of Customer Relationship Management and Company Reputation on Customer Loyalty: The Mediating Role of Customer Satisfaction," *Journal of Relationship Marketing*, vol. 21, no. 1, pp. 1–26, Jan. 2022. <https://doi.org/10.1080/15332667.2020.1840904>
- [4] R. Jabado and R. Jallouli, "Enhancing Customer Relationship Management with Data Analytics: Insights from Retail Survey," *JTDE*, vol. 12, no. 2, pp. 76–100, June 2024. <https://doi.org/10.18080/jtde.v12n2.987>
- [5] B. A. Fida, U. Ahmed, Y. Al-Balushi, and D. Singh, "Impact of Service Quality on Customer Loyalty and Customer Satisfaction in Islamic Banks in the Sultanate of Oman," *Sage Open*, vol. 10, no. 2, p. 2158244020919517, Apr. 2020. <https://doi.org/10.1177/2158244020919517>
- [6] M. Gao and L. Huang, "Quality of channel integration and customer loyalty in omnichannel retailing: The mediating role of customer engagement and relationship program receptiveness," *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 63, p. 102688, Nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102688>
- [7] H. GhorbanTanhaei, P. Boozary, S. Sheykhani, M. Rabiee, F. Rahmani, and I. Hosseini, "Predictive analytics in customer behavior: Anticipating trends and preferences," *Results in Control and Optimization*, vol. 17, p. 100462, Dec. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2024.100462>
- [8] B. Oviedo-Bayas, E. López-Robayo, and C. G. Zambrano-Vega, "Artificial intelligence demand forecasting for improved inventory and fleet management," *JBES*, vol. 1, no. 3, pp. 1–9, July 2025. <https://doi.org/10.37956/jbes.v9i2.395>
- [9] P. Haessner, J. Haessner, and J. Thomas, "Maximizing Retail Potential: The Role of Big Data Analytics," *JSIS*, vol. 19, no. 4, Jan. 2025. <https://doi.org/10.33423/jsis.v19i4.7486>

- [10] X. Zhang, Y. Park, J. Park, and H. Zhang, "Demonstrating the influencing factors and outcomes of customer experience in omnichannel retail," *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 77, p. 103622, Mar. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103622>
- [11] J. Tang, "Unlocking Retail Insights: Predictive Modeling and Customer Segmentation Through Data Analytics," *JTAER*, vol. 20, no. 2, p. 59, Mar. 2025. <https://doi.org/10.3390/jtaer20020059>
- [12] P. Thaichon, S. Quach, M. Barari, and M. Nguyen, "Exploring the Role of Omnichannel Retailing Technologies: Future Research Directions," *Australasian Marketing Journal*, vol. 32, no. 2, pp. 162–177, May 2024. <https://doi.org/10.1177/14413582231167664>
- [13] G. H. Sagala and D. Óri, "Toward SMEs digital transformation success: a systematic literature review," *Inf Syst E-Bus Manage*, vol. 22, no. 4, pp. 667–719, Dec. 2024. <https://doi.org/10.1007/s10257-024-00682-2>
- [14] M. M. H. Shahadat, Md. Nekmahmud, P. Ebrahimi, and M. Fekete-Farkas, "Digital Technology Adoption in SMEs: What Technological, Environmental and Organizational Factors Influence in Emerging Countries?," *Global Business Review*, p. 09721509221137199, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1177/09721509221137199>
- [15] C. Ledro, A. Nosella, and I. Dalla Pozza, "Integration of AI in CRM: Challenges and guidelines," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 9, no. 4, p. 100151, Dec. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100151>
- [16] M. A. Ortiz-Chávez, J. E. Mendoza-Pumapillo, J. O. Dilas-Jiménez, and C. A. Mugruza-Vassallo, "E-commerce of Peruvian SMEs: Determinants of internet sales before and during COVID-19," *Heliyon*, vol. 10, no. 23, p. e40331, Dec. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40331>
- [17] D. P. C. Galvez and S. Revinova, "Assessing Digital Technology Development in Latin American Countries: Challenges, Drivers, and Future Directions," *Digital*, vol. 5, no. 2, p. 20, June 2025. <https://doi.org/10.3390/digital5020020>
- [18] M. Cotarello, T. Fayos, H. Calderón, and A. Mollá, "Omni-Channel Intensity and Shopping Value as Key Drivers of Customer Satisfaction and Loyalty," *Sustainability*, vol. 13, no. 11, p. 5961, May 2021. <https://doi.org/10.3390/su13115961>
- [19] P. B. Pires, B. M. Perestrelo, and J. D. Santos, "Unpacking Customer Experience in Online Shopping: Effects on Satisfaction and Loyalty," *JTAER*, vol. 20, no. 3, p. 245, Sept. 2025. <https://doi.org/10.3390/jtaer20030245>
- [20] J. D. Velásquez, "An analysis of trends, challenges, and opportunities in retail analytics," *International Journal of Market Research*, vol. 67, no. 4, pp. 394–422, July 2025. <https://doi.org/10.1177/14707853251315585>
- [21] H. W. DeLone and R. E. McLean, "The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update," *Journal of Management Information Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 9–30, Apr. 2003. <https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748>
- [22] Y. Wang, "Assessing e-commerce systems success: a respecification and validation of the DeLone and McLean model of IS success," *Information Systems Journal*, vol. 18, no. 5, pp. 529–557, Sept. 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.2007.00268.x>
- [23] S. Petter, W. DeLone, and E. R. McLean, "Information Systems Success: The Quest for the Independent Variables," *Journal of Management Information Systems*, vol. 29, no. 4, pp. 7–62, Apr. 2013. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222290401>
- [24] F. D. Davis, "Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology," *MIS Quarterly*, vol. 13, no. 3, pp. 319–340, Sept. 1989. <https://doi.org/10.2307/249008>
- [25] R. L. Oliver, "Whence Consumer Loyalty?," *Journal of Marketing*, vol. 63, no. 4_suppl1, pp. 33–44, Oct. 1999. <https://doi.org/10.1177/00222429990634s105>
- [26] J. F. Hair, C. M. Ringle, and M. Sarstedt, "PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet," *Journal of Marketing Theory and Practice*, vol. 19, no. 2, pp. 139–152, Apr. 2011. <https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679190202>
- [27] J. F. Hair, G. T. M. Hult, C. M. Ringle, M. Sarstedt, N. P. Danks, and S. Ray, *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R: A Workbook*. in *Classroom Companion: Business*. Cham: Springer International Publishing, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- [28] D. Diansyah and P. Nadya, "The Effect of Digital Marketing and Product Quality on Customer Satisfaction with Purchase Decisions as a Moderation Variable at Cv. Carlitos Maju Pratama," *Return*, vol. 2, no. 8, pp. 845–853, Aug. 2023. <https://doi.org/10.57096/return.v2i8.136>
- [29] A. M. Anber Mohammad, "The Impact of Digital Marketing Success on Customer Loyalty," *MMI*, vol. 13, no. 3, pp. 103–113, 2022. <https://doi.org/10.21272/mmi.2022.3-09>
- [30] S. Mokhtar, M. Mus, and Mus, "An examination of the relationships between customer relationship management quality, service quality, customer satisfaction and customer loyalty: The case of five star hotels," *ASSRJ*, vol. 6, no. 2, Feb. 2019. <https://doi.org/10.14738/assrj.62.6202>

- [31] E. Kurniawan, N. Fitriani, M. I. Rahadian, A. W. Handaru, and S. I. Nikensari, "The Role of Digital Marketing, Customer Satisfaction, and Customer Trust in Maintaining Millennial Customer Loyalty: Case Study on the Tokopedia Indonesia Marketplace," *IJRCMS*, vol. 05, no. 06, pp. 113–123, 2023. <https://doi.org/10.38193/IJRCMS.2023.5609>
- [32] N. Suardhita, R. Martiwi, I. Elyana, and A. Rahman, "The Effect Of Customer Satisfaction And Trust On Customer Loyalty In The Shopee Marketplace," *Quant. Econ. Manag. Stud.*, vol. 5, no. 2, pp. 342–348, Apr. 2024. <https://doi.org/10.35877/454RI.qems2494>
- [33] S.-U. Jung and V. Shegai, "The Impact of Digital Marketing Innovation on Firm Performance: Mediation by Marketing Capability and Moderation by Firm Size," *Sustainability*, vol. 15, no. 7, p. 5711, Mar. 2023. <https://doi.org/10.3390/su15075711>
- [34] S. Bachri, S. M. Putra, E. S. Farid, D. Darman, and A. G. Mayapada, "The Digital Marketing to Influence Customer Satisfaction Mediated by Purchase Decision," *JAM*, vol. 21, no. 3, Sept. 2023. <https://doi.org/10.21776/ub.jam.2023.021.03.03>
- [35] Javeed Sd, M. P., T. M., and D. M. P., "RT Based Railway Gates Automation Using NI myRIO," *IJSREM*, vol. 08, no. 04, pp. 1–5, Apr. 2024. <https://doi.org/10.55041/IJSREM31028>
- [36] T. Onibokun, A. Ejibenam, P. C. Ekeocha, K. D. Oladeji, and N. Halliday, "The impact of Personalization on Customer Satisfaction," *JFMR*, vol. 4, no. 1, pp. 333–341, 2023. <https://doi.org/10.54660/JFMR.2023.4.1.333-341>
- [37] D. El-Shihy, M. Abdelraouf, and N. Hassan, "The path to fashion loyalty: insights from online fashion retailers and gender dynamics," *JFMM*, May 2025. <https://doi.org/10.1108/JFMM-10-2024-0428>
- [38] T. Hennig-Thurau, K. P. Gwinner, and D. D. Gremler, "Understanding Relationship Marketing Outcomes: An Integration of Relational Benefits and Relationship Quality," *Journal of Service Research*, vol. 4, no. 3, pp. 230–247, Feb. 2002. <https://doi.org/10.1177/1094670502004003006>
- [39] A. S. Ajina, J. M. M. Joudeh, N. N. Ali, A. M. Zamil, and T. N. Hashem, "The effect of mobile-wallet service dimensions on customer satisfaction and loyalty: An empirical study," *Cogent Business & Management*, vol. 10, no. 2, p. 2229544, Dec. 2023. <https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2229544>
- [40] A. Stathopoulou and G. Balabanis, "The effects of loyalty programs on customer satisfaction, trust, and loyalty toward high- and low-end fashion retailers," *Journal of Business Research*, vol. 69, no. 12, pp. 5801–5808, Dec. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.04.177>

PLATAFORMAS DIGITALES DE APRENDIZAJE IMPULSADAS POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SU DESEMPEÑO EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-POWERED DIGITAL LEARNING PLATFORMS AND THEIR PERFORMANCE IN HIGHER EDUCATION

Rolly Ramírez-Medina¹ , Josue Zapata-Peña¹ , Darwin Aguilar-Chuquizuta^{1,*} , Eneida Bastidas-Muñoz² 

¹Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, 20009, Perú

²Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 090112, Ecuador

*Autor de Correspondencia: daguilar@untumbes.edu.pe

Historial del artículo:

Recibido: 11.09.2025

Revisado: 03.11.2025

Aceptado: 26.12.2025

En línea: 15.01.2026

Palabras clave:

Estudiantes

Aprendizaje

Pedagogía

Tecnología

Inteligencia artificial

Keywords:

Students

Learning

Pedagogy

Technology

Artificial intelligence

Resumen:

El estudio analiza la relación entre el uso de plataformas digitales de aprendizaje impulsadas por Inteligencia Artificial (IA) y el rendimiento académico en la educación superior. Se adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y alcance descriptivo-correlacional, aplicándose un muestreo censal a 569 estudiantes de una universidad pública peruana durante el período académico 2025-I. La recolección de datos se realizó mediante un cuestionario estructurado de 32 ítems, validado con una confiabilidad ($\alpha > 0.80$). Los resultados evidencian una adopción universal de tecnologías basadas en IA, con el 99.6% de los estudiantes reportando alta accesibilidad y uso frecuente. Solo el 26% alcanza un nivel alto de rendimiento académico, mientras que el 49% se sitúa en un nivel medio y el 25% en un nivel bajo. El análisis inferencial revela que el tipo de herramienta de IA utilizada presenta la relación más fuerte con el rendimiento académico, superando a dimensiones como la frecuencia de uso o la percepción de utilidad. La novedad del estudio radica en demostrar empíricamente que la calidad y pertinencia pedagógica de las herramientas de IA constituyen un factor más determinante que su uso intensivo. Se concluye que la integración efectiva de plataformas impulsadas por IA requiere enfoques pedagógicos estratégicos orientados al fortalecimiento del aprendizaje universitario.

Abstract:

The study analyzes the relationship between the use of digital learning platforms powered by Artificial Intelligence (AI) and academic performance in higher education. A quantitative approach was adopted, with a non-experimental design and descriptive-correlational scope, applying a census sampling to 569 students from a Peruvian public university during the 2025-I academic period. Data collection was carried out using a structured questionnaire with 32 items, validated with a reliability ($\alpha > 0.80$). The results show universal adoption of AI-based technologies, with 99.6% of students reporting high accessibility and frequent use. Only 26% achieve a high level of academic performance, while 49% are at an average level and 25% at a low level. Inferential analysis reveals that the type of AI tool used has the strongest relationship with academic performance, surpassing dimensions such as frequency of use or perceived usefulness. The novelty of the study lies in empirically demonstrating that the quality and pedagogical relevance of AI tools are a more decisive factor than their intensive use. It concludes that the effective integration of AI-driven platforms requires strategic pedagogical approaches aimed at strengthening university learning.

Cómo citar:

R. Ramírez-Medina, J. Zapata-Peña, D. Aguilar-Chuquizuta y E. Bastidas-Muñoz, «Plataformas digitales de aprendizaje impulsadas por inteligencia artificial y su desempeño en la educación superior», *International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI*, vol. 2, n.º 1, pp. 48–69, ene. 2026. doi: [10.64439/cisai.v2i1.32](https://doi.org/10.64439/cisai.v2i1.32)

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC-BY-NC-ND



I. INTRODUCCIÓN

La integración de la IA en la educación superior ha transformado los paradigmas de enseñanza-aprendizaje a nivel global [1]. Las plataformas de aprendizaje adaptativo, potenciadas por algoritmos de aprendizaje automático y procesamiento de lenguaje natural, ajustan dinámicamente contenidos, ritmo y metodologías pedagógicas según las necesidades individuales de cada estudiante [2]. Esta transformación responde a la necesidad de personalizar las experiencias de aprendizaje y mejorar los resultados académicos en contextos de alta heterogeneidad educativa [3]. En esta dirección, hay mucha evidencia empírica que respalda el uso de estas tecnologías. Una revisión sistemática informa que cerca del 40% de las instituciones educativas informan mejoras en procesos de aprendizaje a partir de la implementación de la IA [4]. A su vez, otro estudio de tipo meta-analítico muestra que los sistemas tutoriales inteligentes contribuyen a mejorar el rendimiento académico entre un 15% y un 25% de estudiantes y a aumentar la implicación por el aprendizaje hasta un 40% [5]. En la misma línea, se han presentado resultados de una investigación experimental que muestra mejoras estadísticamente significativas en habilidades cognitivas clave. Por ejemplo, en la resolución de problemas ($M = 65.4$ vs. $M = 72.8$, $p < 0.001$), pensamiento crítico ($M = 68.9$ vs. $M = 74.3$, $p < 0.001$) y razonamiento lógico ($M = 63.2$ vs. $M = 70.1$, $p = 0.001$) [6].

Sin embargo, estos desarrollos están acompañados de amplias brechas digitales que amenazan con profundizar las desigualdades educativas. Mientras que las instituciones de educación superior en países de altos ingresos han podido implementar sistemas completos, las instituciones situadas en países de bajos y medios ingresos todavía se deben enfrentar a limitaciones de infraestructura, de formación, y de recursos institucionales [7]. De forma aún más pronunciada, esta brecha se agudiza en América Latina, donde las desigualdades digitales se incrementaron durante la pandemia de COVID-19 y se acentuaron especialmente en el alumnado de estratos socioeconómicos bajos [8]. Un estudio con 2.882 estudiantes universitarios de distintas instituciones de América Latina ha puesto de manifiesto patrones de desigualdad incluso en aspectos de frecuencia, duración y satisfacción relacionados con el uso de herramientas digitales [9]. Asimismo, los organismos internacionales han puesto de relieve que el uso de la IA en educación no tan solo requiere de infraestructura, sino también de formación en competencias digitales y de políticas institucionales que favorezcan la equidad y la inclusión [10].

Por lo tanto, la investigación empírica en IA y rendimiento ha tenido un gran desarrollo, pero con resultados contradictorios. En un reciente meta-análisis reportan tamaños del efecto grandes en rendimiento académico ($g = 0.554$, $p < 0.05$) [11]. De igual manera, una revisión sistemática indica pros pero también contras, donde se subraya el uso ético dudoso, la resistencia en el profesorado y una dependencia digital excesiva [12]. También se ha reportado que el uso habitual de IA generativa correlaciona negativamente con las habilidades de pensamiento crítico, permitiendo "pereza metacognitiva" que disminuye el compromiso en este tipo de procesos [13]. A su vez, un análisis sobre el uso de ChatGPT reporta mejoras en condición de rendimiento pero esfuerzo mental disminuido, poniendo en ninguna duda los resultados a largo plazo sobre el aprendizaje genuino [14] [15] [16]. Esta evidencia indica que la eficacia de la IA depende de cómo se integre pedagógicamente y las condiciones contextuales de uso.

A pesar del creciente cuerpo de evidencia internacional sobre el uso de la inteligencia artificial en educación, persisten brechas relevantes que justifican nuevas investigaciones. La literatura se ha concentrado mayoritariamente en contextos de Asia, América del Norte y Europa, con una representación aún limitada de realidades latinoamericanas [12], así como en disciplinas STEM, dejando subrepresentados campos como la administración [17]. De igual manera, numerosos estudios priorizan la evaluación de la efectividad técnica de las herramientas de IA, sin incorporar de manera suficiente factores contextuales, socioeconómicos y culturales que condicionan su adopción y uso [18], ni analizar de forma integrada múltiples dimensiones del rendimiento académico asociadas a variables específicas de utilización de IA [19].

Esta situación es especialmente evidente en América Latina, donde la investigación en la educación superior se encuentra en etapas iniciales. En el caso peruano, los estudios existentes refieren patrones fragmentados de utilización, tales como relaciones significativas entre el uso de IA y el aprendizaje cooperativo en estudiantes de ingeniería [20], aplicaciones docentes orientadas a la aportación de textos con retos en la urbanización curricular [21], y correlaciones entre las competencias investigativas y el uso de las herramientas inteligentes [22] [23]. También se pone de manifiesto esta brecha en la escena regional, evidenciándose en la región de Tumbes, Perú, donde la escuela profesional de administración de la Universidad Nacional de Tumbes posee indicadores académicos retadores. Por ejemplo, se estima que el 41% de los alumnos no llegan a la media mínima con lo que pone de manifiesto carencias en habilidades básicas como la escritura académica, la gestión del tiempo y la comprensión lectora. Por tanto, a pesar del desarrollo de entornos de digitalización institucional, el uso del tipo de herramientas basadas en IA todavía no ha partido de la definición de los procesos académicos ni tampoco de la facilitación personalizada mediante tecnologías adaptativas. Así, el presente texto tiene como objetivo el análisis de la influencia que tienen plataformas digitales de aprendizaje por IA sobre el rendimiento académico de los alumnos de educación superior a la vez que se propone un marco de aprendizaje por IA de forma adaptativa en la educación universitaria. En el plano particular, se busca revisar la relación entre el acceso a herramientas por IA, la frecuencia y tipo de uso de este tipo herramientas y la percepción de utilidad, y el rendimiento académico en diferentes dimensiones como son la planificación del estudio o la comprensión del contenido, la resolución de tareas o el logro de resultados. Con ello se intentará aportar evidencias empíricas en la efectividad contextualizada de tecnologías educativas novedosas en contextos marcados por la escasez en recursos y el momento y la brecha digital. Lo que queda de texto se estructura como sigue. En la siguiente sección se presenta el marco metodológico detallando diseño de la investigación, población y muestra, instrumentos de recolección de datos y procedimientos de análisis estadístico. La tercera sección presenta los resultados organizados alrededor de dimensiones del rendimiento académico. La cuarta sección aporta una discusión de los resultados en relación con la literatura existente que identifica implicaciones teóricas y/o prácticas. Por último, la quinta sección presenta las conclusiones, limitaciones y recomendaciones para futuras investigaciones.

II. MÉTODOS

La metodología de la investigación se establece con el propósito de garantizar que se realice de forma precisa y rigurosa, así como para favorecer la transparencia de la información que se considera necesaria para poder reproducir los hallazgos obtenidos en el estudio. En función de naturaleza de la actividad de estudio, el diseño metodológico que se establece, se ajusta a la necesidad de establecer de forma sistemática la relación existente entre el uso de las plataformas de aprendizaje digital donde queda incorporada la inteligencia artificial y el rendimiento académico en la entidad universitaria concreta. Todo ello nos lleva a la posterior formulación de la definición del diseño de la investigación, así como la población y muestra, las variables a estudiar, los instrumentos de medida, los procesos de recogida de datos y análisis estadístico de los datos.

2.1 Diseño metodológico

Este estudio empleó un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, de corte transversal para examinar la relación entre las plataformas digitales de aprendizaje impulsadas por inteligencia artificial y el rendimiento académico. La investigación se realizó durante el período académico 2025-I en la Universidad Nacional de Tumbes, Perú. Se adoptó un alcance descriptivo-correlacional para caracterizar los patrones de uso de la IA y establecer la magnitud y dirección de las asociaciones con las dimensiones del rendimiento académico [1] [2]. No se manipularon deliberadamente las variables. Más bien, se observaron en su contexto educativo natural para analizar sus relaciones. La Figura 1 ilustra el marco conceptual y el diseño de investigación empleado en este estudio.

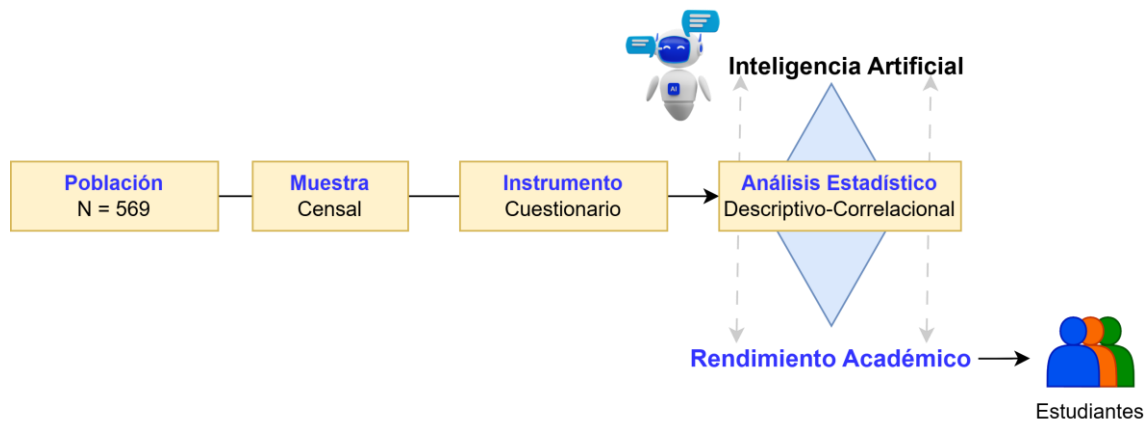


Figura 1. Modelo metodológico para el análisis del rendimiento académico

La figura 1 ilustra sucintamente el diseño metodológico del estudio. En primer lugar, se concreta una población de 569 estudiantes, a la cual se aplica un muestreo censal, lo que implica que la totalidad de los sujetos pasan a ser considerados en el análisis, de ahí que no haya errores de inferencia por muestreo. El instrumento de recolección de datos es un cuestionario, por lo que permite realizar la medición de las variables de estudio a partir de ítems ya definidos y validados. La información que recoge el instrumento es procesada mediante un análisis estadístico de tipo descriptivo-correlacional, que tiene como finalidad, por un lado, caracterizar las variables observadas y, por otro, comprobar las relaciones que existen entre ellas. Por tanto, las flechas bidireccionales indican que el enfoque no se limita a una descripción aislada, sino que busca establecer asociaciones entre el rendimiento académico y las variables analizadas a partir del cuestionario.

2.2 Población y Muestreo

Los participantes fueron 569 estudiantes matriculados en la Escuela Profesional de Administración de la Universidad Nacional de Tumbes durante el semestre académico 2025-I. Para el estudio, utilizamos la información poblacional del sistema integrado de gestión académica, de manera que la información registrada fuera precisa y actual. La población fue de tamaño finito y contaba con características aceptablemente homogéneas y similares en los aspectos de formación académica y en el contexto institucional, el tratamiento para el estudio de la muestra fue el muestreo censal. Por lo tanto, al ser la totalidad de estudiantes matriculados durante el periodo de estudio el objeto de nuestro estudio, no era necesario aplicar técnicas de muestreo probabilístico o no probabilístico. En este sentido, el tratamiento del muestreo censal tiene la ventaja de eliminar el error muestral y permite fortalecer el tema de la validez interna de los resultados, aspecto muy importante en estudios de un enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo-correlacional aplicados en contextos educativos.

2.3 Variables de estudio

El estudio analiza dos variables. La primera variable fue, “Inteligencia Artificial” considerada como variable independiente y el “Rendimiento Académico” como variable dependiente. Ambas variables fueron conceptualizadas como constructos multidimensionales y fueron operacionalizadas a partir de dimensiones e indicadores observables o medidos. De este modo, fue posible proceder con su análisis cuantitativo riguroso, correspondiente a un enfoque metodológico muy extendido en el ámbito de la investigación educativa. La variable “Inteligencia Artificial” fue operacionalizada a partir de 4 dimensiones que reflejan las distintas dimensiones de la interacción, uso y percepción de las tecnologías basadas en IA en un contexto académico. La Tabla 1 presenta la operación de esta variable de forma detallada y se presenta la estructura de operacionalización, dimensiones e indicadores.

Tabla 1. Operacionalización de la variable inteligencia artificial

Dimensión	Indicadores
Accesibilidad	Facilidad de acceso a plataformas de IA Conectividad y dispositivos disponibles Nivel de conocimiento previo
Frecuencia de Uso	Uso semanal o diario Tiempo de interacción por sesión Participación en actividades asistidas por IA
Tipo de Herramientas	Uso de chatbots educativos Uso de plataformas automatizadas Aplicación de sistemas de tutoría virtual
Percepción de Utilidad	Utilidad percibida para estudiar Utilidad para resolver tareas Utilidad para mejorar rendimiento académico

A continuación, la definición “rendimiento académico”, considerado como la variable dependiente de tipo multidimensional, al sumar tanto las componentes cognitivas como las actitudinales y el desempeño académico. Su operacionalización la podemos encontrar en la Tabla 2 donde se describen las dimensiones e indicadores que nos servirán para su medición, en consonancia con lo expuesto por la literatura especializada en la materia del rendimiento académico.

Tabla 2. Operacionalización de la variable rendimiento académico

Dimensión	Indicadores
Planificación Académica	Elaboración de cronogramas de estudio Anticipación a fechas de entrega Distribución adecuada del tiempo
Comprensión de Contenidos	Nivel de claridad en la comprensión Interpretación de lecturas Participación en clase
Resolución de Tareas	Cumplimiento de actividades Calidad de las entregas Aplicación práctica de lo aprendido
Logro de Resultados	Calificaciones obtenidas Aprobación de asignaturas Evolución del rendimiento por ciclo

2.4 Instrumentos

Se diseñó un cuestionario estructurado de 32 ítems, distribuidos de manera balanceada entre las dos variables de estudio (16 ítems por variable). Cada enunciado se respondió mediante una escala Likert de cinco categorías, desde “Totalmente en desacuerdo” (1) hasta “Totalmente de acuerdo” (5), conforme a los lineamientos recomendados en la literatura psicométrica para medición de constructos latentes en contextos educativos.

La Tabla 3 presenta el instrumento de medición de la variable “Inteligencia Artificial”, organizada en cuatro dimensiones con 16 ítems que evalúan el compromiso estudiantil con plataformas de IA. La dimensión de accesibilidad (ítems 1-4) examina las condiciones de infraestructura y conocimientos previos; la frecuencia de uso (ítems 5-8) cuantifica la intensidad de interacción con sistemas de IA; el tipo de herramientas (ítems 9-12) identifica las tecnologías específicas empleadas; y la percepción de utilidad (ítems 13-16) evalúa las valoraciones subjetivas sobre los beneficios de la IA para el aprendizaje y organización académica.

Tabla 3. Cuestionario para evaluar la variable inteligencia artificial

Dimensión	Ítem
Accesibilidad	Tengo fácil acceso a plataformas que utilizan IA para mi aprendizaje.
	Cuento con conectividad a internet y dispositivos para acceder a herramientas de IA.
	Tenía conocimientos básicos sobre el uso de IA en educación.
	Las herramientas de IA facilitan la resolución de tareas académicas.
Frecuencia de uso	Utilizo herramientas de IA al menos una vez por semana para fines académicos.
	Dedico más de 30 minutos por sesión a interactuar con sistemas basados en IA.
	Participo regularmente en actividades académicas que incorporan IA.
Tipo de herramienta	Uso frecuentemente herramientas de IA en mi proceso de aprendizaje.
	He utilizado chatbots educativos para resolver dudas académicas.
	Utilizo plataformas automatizadas que corrigen ejercicios o exámenes.
	He interactuado con sistemas de tutoría virtual guiados por IA.
Percepción de utilidad	Percebo que la IA contribuye directamente a mejorar mi rendimiento.
	Me siento motivado(a) a estudiar cuando utilizo herramientas con IA.
	El uso de IA me permite organizar mejor mi tiempo de estudio.
	Las plataformas con IA promueven un aprendizaje autónomo y personalizado.
	Recomendaría el uso de herramientas basadas en IA a compañeros.

La Tabla 4 muestra el instrumento de “Rendimiento Académico”, igualmente estructurado en cuatro dimensiones con 16 ítems. La planificación académica (ítems 1-4) evalúa la capacidad de organización y gestión del tiempo, la comprensión de contenidos (ítems 5-8) mide la profundidad del entendimiento alcanzado, la resolución de tareas (ítems 9-12) examina la calidad y aplicación práctica de conocimientos y el logro de resultados (ítems 13-16) captura indicadores objetivos de desempeño. Ambos instrumentos utilizan una escala Likert de 5 puntos y fueron validados mediante juicio de expertos, alcanzando coeficientes de confiabilidad superiores a 0.70 en todas las dimensiones.

Tabla 4. Cuestionario para evaluar la variable rendimiento académico

Dimensión	Ítem
Planificación académica	Elaboro cronogramas de estudio para organizar mis actividades académicas.
	Me anticipo a las fechas de entrega de trabajos y exámenes.
	Distribuyo adecuadamente mi tiempo entre clases, tareas y estudios.
	Evalúo y ajusto mi planificación académica cuando surge un imprevisto.
Comprensión de contenidos	Comprendo con claridad los contenidos que se abordan en las clases.
	Puedo interpretar adecuadamente los textos y materiales de lectura asignados.
	Participo activamente en clase porque comprendo los temas discutidos.
Resolución de tareas	Utilizo estrategias para mejorar mi comprensión cuando tengo dificultades.
	Cumplo con la entrega de todas las actividades académicas asignadas.
	Las tareas que realizo reflejan calidad y dominio del tema.
	Aplico los conocimientos adquiridos en las tareas y actividades prácticas.
Logro de resultados	Reviso y corrijo mis trabajos antes de entregarlos para asegurar su calidad.
	Obtengo buenas calificaciones en la mayoría de mis asignaturas.
	Apruebo regularmente las materias del semestre sin necesidad de recuperación.
	Mi rendimiento académico ha mejorado progresivamente a lo largo de los ciclos.
	Los resultados que obtengo reflejan mi esfuerzo y aprendizaje.

La validez de contenido se estableció mediante juicio de expertos. Participaron cinco evaluadores con experiencia en tecnología educativa, pedagogía y metodología de investigación, quienes revisaron la pertinencia, claridad y representatividad de los ítems respecto de sus dimensiones teóricas. Posteriormente, se calculó el Coeficiente de Validez de Contenido por ítem. Todos alcanzaron valores superiores a 0.80, lo que evidencia un nivel de validez de contenido y respalda la adecuación semántica y conceptual del instrumento. En cuanto a la confiabilidad se examinó a través de la consistencia interna, empleando el alfa de Cronbach (α). Para ello, una vez recogidas las respuestas del cuestionario, se organizaron los ítems por dimensión (según la matriz de operacionalización), y se estimó α por cada dimensión con base en la covariación entre sus ítems. En términos operativos, el procedimiento se enmarcó en: (1) depuración básica de la base (verificación de valores perdidos y codificación homogénea 1-5), (2) agrupación de ítems por dimensión, (3) cálculo de α para cada grupo y (4) contraste con el umbral psicométrico de referencia ($\alpha \geq 0.70$) para estudios aplicados.

Los resultados se presentan en la Tabla 5, donde se observa que todas las dimensiones superan el criterio mínimo, con valores que oscilan entre 0.823 y 0.883, lo que indica una consistencia interna buena en todas las dimensiones evaluadas. En particular, para la variable “Inteligencia Artificial” se obtuvieron $\alpha=0.831$ (Accesibilidad), $\alpha=0.847$ (Frecuencia de uso), $\alpha=0.823$ (Tipo de herramientas) y $\alpha=0.865$ (Percepción de utilidad). Para, “Rendimiento Académico”, los coeficientes fueron $\alpha=0.842$ (Planificación académica), $\alpha=0.858$ (Comprensión de contenidos), $\alpha=0.871$ (Resolución de tareas) y $\alpha=0.883$ (Logro de resultados). Por tanto, estos hallazgos sustentan que el instrumento presenta estabilidad interna adecuada para el análisis inferencial posterior y reduce el riesgo de error de medición dentro de cada dimensión.

Tabla 5. Coeficientes de confiabilidad de consistencia interna

Variable	Dimensión	Alfa de Cronbach (α)	Decisión
Inteligencia Artificial	Accesibilidad	0.831	Buena
	Frecuencia de Uso	0.847	
	Tipo de Herramientas	0.823	
	Percepción de Utilidad	0.865	
Rendimiento Académico	Planificación Académica	0.842	Buena
	Comprensión de Contenidos	0.858	
	Resolución de Tareas	0.871	
	Logro de Resultados	0.883	

La Tabla 5 se elaboró a partir de las respuestas obtenidas del cuestionario aplicado, las cuales fueron previamente organizadas y codificadas conforme a la escala Likert de cinco puntos. Seguidamente, los ítems se agruparon según la estructura dimensional definida en la operacionalización de las variables, de modo que cada dimensión fue analizada como un constructo independiente integrado únicamente por los ítems que la representan teóricamente. Para cada uno de estos conjuntos se calculó el coeficiente alfa de Cronbach (α) mediante software estadístico SPSS, con el propósito de evaluar el grado de coherencia interna entre los ítems y su capacidad para medir consistentemente el constructo subyacente. La interpretación de los coeficientes se realizó conforme a los criterios psicométricos ampliamente aceptados, adoptándose como referencia un valor mínimo de $\alpha \geq 0.70$. Dado que todas las dimensiones superaron dicho umbral, se concluye que el instrumento presenta una consistencia interna adecuada, razón por la cual los coeficientes fueron clasificados con una confiabilidad buena, respaldando así la solidez de las mediciones reportadas.

2.5 Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos se realizó durante un período de cuatro semanas entre septiembre y octubre de 2025. El equipo de investigación coordinó con áreas directivas para programar sesiones de aplicación del instrumento durante horarios regulares de clase, minimizando la interrupción de actividades académicas mientras se maximizaban las tasas de participación. Los estudiantes fueron informados sobre los objetivos del estudio, la naturaleza voluntaria de su participación, el carácter confidencial de sus respuestas y su derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencias académicas. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes antes de la administración del instrumento. Los cuestionarios fueron aplicados en formato físico por tres asistentes de investigación previamente capacitados en técnicas estandarizadas de administración de instrumentos, quienes estuvieron disponibles para resolver dudas procedimentales sin influir en las respuestas de los participantes.

La aplicación se realizó en sesiones supervisadas con grupos de aproximadamente 30-40 estudiantes por aula, con una duración promedio de 20 minutos por sesión. Los participantes completaron los cuestionarios de manera individual para evitar sesgos de deseabilidad social o influencia grupal. Inmediatamente después de la recolección, cada cuestionario fue revisado para verificar su completitud, codificado con un identificador único para garantizar la anonimización, y almacenado en un archivo seguro. Los cuestionarios con más del 10% de datos faltantes (más de 3 ítems sin responder) fueron excluidos del análisis. El conjunto de datos final incluyó respuestas válidas de 542 estudiantes de una población objetivo de 569, alcanzando una tasa de respuesta del 95.3%, la cual supera ampliamente el umbral del 67% reportado como típico en investigación educativa en ciencias de la salud [24] y el 44% promedio documentado para encuestas en investigación académica [25].

2.6 Análisis Estadístico

El análisis de datos se realizó utilizando IBM SPSS Statistics versión 28.0 (IBM Corp., Armonk, NY). El proceso analítico siguió un enfoque secuencial que comprendió análisis descriptivo, evaluación de supuestos estadísticos, análisis de confiabilidad, análisis inferencial y prueba de hipótesis. Se calcularon estadísticos descriptivos para caracterizar la muestra y resumir los patrones de respuesta. Para variables categóricas (sexo, nivel académico) se computaron frecuencias absolutas y porcentajes. Para las variables cuantitativas continuas (puntuaciones de las dimensiones e índices globales de las variables), se calcularon medidas de tendencia central (media aritmética, mediana) y de dispersión (desviación estándar, rango intercuartílico). Estos estadísticos permitieron identificar la distribución de respuestas y detectar posibles valores atípicos. Dado que las pruebas paramétricas requieren el cumplimiento de supuestos de normalidad, se evaluó la distribución de las variables cuantitativas mediante dos aproximaciones complementarias. Primero, se aplicaron las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (con corrección de significación de Lilliefors) y Shapiro-Wilk, considerándose distribuciones normales aquellas con valores $p > 0.05$ [26]. La prueba de Shapiro-Wilk fue priorizada para la interpretación dado su mayor poder estadístico en muestras pequeñas y medianas [27]. Segundo, se examinaron gráficos Q-Q normales para inspección visual de la normalidad. Como se ha mencionado anteriormente, la consistencia interna de los instrumentos fue evaluada mediante el coeficiente alfa de Cronbach (α) para cada dimensión y para las escalas globales. Se consideraron aceptables valores de $\alpha \geq 0.70$, buenos valores entre 0.80 y 0.89, y excelentes valores ≥ 0.90 [28] [29]. Adicionalmente, se calculó la correlación ítem-total corregida para identificar ítems con correlaciones débiles ($r < 0.30$) que pudieran comprometer la consistencia interna de las dimensiones.

Para examinar las relaciones entre las variables de inteligencia artificial y rendimiento académico, se utilizaron coeficientes de correlación. La selección entre el coeficiente de correlación de Pearson (r) o el coeficiente rho de Spearman (ρ) dependió del cumplimiento de los supuestos de normalidad. Se empleó Pearson para variables con distribución normal bivariada, y Spearman para variables que no cumplieron este supuesto [30]. Los coeficientes de correlación fueron interpretados utilizando criterios empíricos ajustados para investigación educativa: 0.10-0.19 (muy débil), 0.20-0.29 (débil), 0.30-0.49 (moderada), y ≥ 0.50 (fuerte) [31] [32]. La significancia estadística fue evaluada mediante pruebas bilaterales con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, correspondiente a un intervalo de confianza del 95%. En esta misma línea, se contrastaron cuatro hipótesis específicas:

- **H₁**: La accesibilidad de herramientas de IA se relaciona significativamente con la planificación académica de los estudiantes.
- **H₂**: La frecuencia de uso de IA afecta significativamente la comprensión de contenidos académicos.
- **H₃**: El tipo de herramienta de IA utilizada se relaciona significativamente con la capacidad de resolución de tareas académicas.
- **H₄**: La percepción de utilidad de IA influye significativamente en el logro de resultados académicos.

Para cada hipótesis, se estableció la hipótesis nula (H_0 : no existe relación significativa entre las variables) y la hipótesis alternativa (H_1 : existe una relación significativa entre las variables). La decisión de rechazar o no rechazar H_0 se basó en el valor p obtenido: valores $p < 0.05$ condujeron al rechazo de H_0 y proporcionaron evidencia estadística de una relación significativa entre las variables. Adicionalmente a las pruebas de significancia estadística, se calcularon tamaños del efecto para evaluar la magnitud práctica de las relaciones encontradas, complementando así la significancia estadística con información sobre la relevancia sustantiva de los hallazgos [33]. Los datos faltantes, que representaron menos del 3% del total, fueron manejados mediante eliminación por lista, dado que su proporción fue mínima y no se identificaron patrones sistemáticos de pérdida de datos que pudieran introducir sesgos sustanciales en los resultados. Esta aproximación es aceptable cuando los datos faltantes son mínimos y se asume el mecanismo de pérdida completamente al azar [34] [35].

III. RESULTADOS

La presente sección expone los hallazgos obtenidos del proceso de evaluación de las variables inteligencia artificial y rendimiento académico en una muestra de 569 estudiantes de la Escuela Profesional de Administración de la Universidad Nacional de Tumbes durante el año académico 2025. Los resultados se organizan en tres fases. Primero se realiza un análisis descriptivo, que caracteriza el comportamiento y distribución de las variables estudiadas mediante estadística univariada y bivariada. Posteriormente, se describe el análisis inferencial, que examina las relaciones estadísticas planteadas en las hipótesis de investigación a través del coeficiente de correlación de Spearman. Por último, se caracteriza una propuesta que enmarca el proceso y adaptación de plataformas tecnológicas impulsadas en IA con la finalidad de fortalecer el rendimiento académico.

3.1 Accesibilidad a herramientas de inteligencia artificial

El primer objetivo específico buscó determinar la relación entre la accesibilidad de las herramientas de IA y el rendimiento académico de los estudiantes. La accesibilidad fue operacionalizada en base a la disponibilidad técnica, a la facilidad de conexión y al conocimiento de las plataformas que estaban disponibles. Los resultados consignados en la Tabla 6 evidencian que la accesibilidad a las herramientas de inteligencia artificial es prácticamente universal entre los estudiantes evaluados, concentrándose el 99.65% en el nivel alto, siendo marginales los niveles medio y bajo. Este resultado

confirma que las condiciones de acceso tecnológico infraestructura digital, conectividad y disponibilidad de plataformas basadas en IA se encuentran muy consolidadas en el marco universitario con un contexto muy propicio para la presencia de tecnologías digitales avanzadas en los procesos formativos. Sin embargo, al contrastar estos niveles de accesibilidad con el rendimiento académico se puede confirmar que esta disponibilidad tecnológica no se traduce de manera automática en un rendimiento académico elevado. A pesar del acceso casi pleno a herramientas de IA, tan solo un 26% de los estudiantes obtiene un nivel alto de rendimiento y la mayoría de estos se encuentra repartido entre los niveles medio (49%) y bajo (25%). Esta disociación pone de manifiesto que la accesibilidad, a pesar de ser una condición necesaria, no es suficiente para producir importantes mejoras de los resultados académicos.

Tabla 6. Accesibilidad a IA y rendimiento académico

Nivel	Accesibilidad de herramientas de IA			Rendimiento académico	
	Puntuación	Encuestados	%	Encuestados	%
Bajo	De 4 a 9	2	0.35%	145	25%
Medio	De 10 a 14	0	0.00%	277	49%
Alto	De 15 a 20	567	99.65%	147	26%
Total		569	100%	569	100%

Desde una perspectiva analítica, los resultados de la Tabla 6 permiten inferir que la relación entre accesibilidad a herramientas de IA y rendimiento académico se encuentra mediada por el modo en que dichas tecnologías son integradas en las prácticas de aprendizaje. La existencia de altos niveles de acceso, coexistiendo con desempeños académicos mayoritariamente intermedios, demuestra que el potencial de las tecnologías de la información impulsadas por inteligencia artificial aún no es plenamente aprovechado en términos pedagógicos, especialmente en lo referido al desarrollo de competencias cognitivas superiores, aprendizaje autónomo y autorregulación académica. En este sentido, los hallazgos exponen la necesidad de trascender enfoques centrados exclusivamente en la provisión tecnológica y avanzar hacia modelos educativos que promuevan el uso estratégico, reflexivo y formativo de las TIC basadas en IA. La accesibilidad detectada evidencia una oportunidad que debe ser capitalizada mediante orientaciones pedagógicas claras, formación en competencias digitales avanzadas y prácticas didácticas que integren la inteligencia artificial como un recurso para potenciar el aprendizaje significativo, la resolución de problemas y la construcción activa del conocimiento.

3.2 Establecer la incidencia de la frecuencia de uso de la IA en el rendimiento académico

Los resultados que se presentan en la Tabla 7 posibilitan examinar el efecto que tiene la frecuencia de uso de las herramientas de inteligencia artificial en el rendimiento académico de los participantes. La distribución que se aprecia muestra que toda la muestra se encuadra en los niveles medio y alto de frecuencia de uso, lo que denota que la práctica con herramientas de IA ya forma parte de la práctica académica asociada, más allá de ser una práctica ocasionalizada. Sin embargo, cuando se contrasta la frecuencia de uso de las herramientas de IA con los niveles de rendimiento académico, se constata que el uso de las herramientas de IA al tiempo que el rendimiento académico suelen presentar frecuencias elevadas no son garantes de un rendimiento académico elevado. Por el contrario, aun cuando un porcentaje importante de la muestra reporta una frecuencia alta de uso de herramientas de IA, el rendimiento académico sigue presentando sobre todo frecuencias medias, y luego bajas. La frecuencia alta para el rendimiento académico presenta unas frecuencias comparativamente bajas. Esto pone de manifiesto que la alta frecuencia de uso de herramientas de IA no es un determinante lineal de mejora del rendimiento académico.

Tabla 7. Frecuencia de uso de la IA en el rendimiento académico

Nivel	Frecuencia de uso de la IA			Rendimiento académico	
	Puntuación	Encuestados	%	Encuestados	%
Bajo	De 4 a 9	2	0%	145	25%
Medio	De 10 a 14	0	53%	277	49%
Alto	De 15 a 20	567	47%	147	26%
Total		569	100%	569	100%

Desde la perspectiva interpretativa, los resultados indican que la frecuencia de uso, entendida como la repetición o la intensidad de la interacción con las herramientas de IA, adquiere sentido académico sólo si puede establecerse con criterios de pertinencia, profundidad cognitiva y alineación con los objetivos de aprendizaje. Hacer un uso frecuente de la IA, tal y como orienta a la automatización de la tarea o a la mejora del tiempo, puede generar eficiencia operativa, pero no necesariamente traducción de procesos de aprendizaje. Desde este punto de vista, los resultados nos indican que la frecuencia de uso de la inteligencia artificial y por tanto rendimiento académico se da de modo condicionado, dependiendo también del tipo de actividades académicas que las incorporen y del nivel de reflexión que adolece su uso. Así, la frecuencia se nos da como un factor importante, pero no determinante por sí mismo, repitiendo la idea de que la incidencia educativa de la IA se produce más en el que se usa y en para qué se usa antes que en el cuánto.

3.3 Analizar la relación entre el tipo de herramienta de IA empleada y el Rendimiento académico.

La interpretación que proviene de lo expuesto en la Tabla 8 pone de manifiesto los resultados asociados a la clase de herramienta de inteligencia artificial, de manera que a partir de este análisis se puede observar un escenario que tiene una fuerte preponderancia de estudiantes que llevan a cabo tareas académicas con herramientas digitales de mayor funcionalidad, lo que revela que existe una clara preferencia hacia las tecnologías en IA que cuentan con capacidad de automatización, de generación de respuestas complejas y de asistencia cognitiva en el ámbito de diversas tareas de estudio. Es más, la destacada preferencia no se manifiesta en rendimiento académico, con un fuerte uso de las herramientas que han sido ubicadas en el nivel más alto, mientras que las opciones académicas de los estudiantes parecen estar colocadas, en su mayoría, en niveles intermedios y con un porcentaje menor en niveles bajos, lo cual muestra que la utilización de tecnologías más potentes no es un factor suficiente para mejorar el rendimiento académico, de forma que sería importante observar en qué medida se emplean estas herramientas en el proceso educacional.

Tabla 8. Incidencia de tipos de herramienta de IA y el rendimiento académico

Nivel	Tipo de herramienta de IA			Rendimiento académico	
	Puntuación	Encuestados	%	Encuestados	%
Bajo	De 4 a 9	2	0.35%	145	25%
Medio	De 10 a 14	0	0.00%	277	49%
Alto	De 15 a 20	567	99.65%	147	26%
Total		569	100%	569	100%

Desde la mirada de la innovación didáctica, los resultados observados reflejan que el tipo de herramienta de inteligencia artificial utilizada y el rendimiento académico obtenido dependerán de la funcionalidad de la herramienta de la inteligencia artificial y de la práctica de actividades de aprendizaje y estudio. Las soluciones tecnológicas de la inteligencia artificial proporcionan amplias opciones para el análisis, la síntesis y la toma de decisiones de los alumnos. Aun así, su utilidad académica queda reducida si su uso se plantea como una herramienta para la simplificación de tareas

o para obtener resultados. Así, los datos muestran que el potencial de las herramientas de la inteligencia artificial sólo se activa si se articulan con planteamientos pedagógicos donde hay una reflexión, un razonamiento y una construcción activa del conocimiento, por lo que dan sentido a su papel en el aprendizaje universitario.

3.4 La percepción de utilidad de la IA influye en el logro del rendimiento académico

Los datos expuestos en la Tabla 8 posibilitan el análisis de la función desempeñada por la apreciación subjetiva de la utilidad de las herramientas de inteligencia artificial en lo que respecta a la obtención del rendimiento académico. Dicha distribución exhibió una casi plena concentración del alumnado entre los niveles altos de percepción de utilidad, lo que supone que la gran mayoría de los estudiantes reconoce a la IA como un recurso operativo y motivante para el progreso de sus actividades académicas. No obstante, dicho reconocimiento generalizado no se traduce de manera proporcional en los resultados académicos obtenidos, ya que el rendimiento continúa en niveles intermedios, en su gran mayoría, y bajos. Dicho esto, este asunto pone en evidencia que una buena apreciación de la tecnología, aunque sea positiva, no actúa automáticamente como un eslabón directo del rendimiento académico.

Tabla 9. Incidencia de la percepción de utilidad de IA y el rendimiento académico

Nivel	Percepción de utilidad de la IA			Rendimiento académico	
	Puntuación	Encuestados	%	Encuestados	%
Bajo	De 4 a 9	2	0.35%	145	25%
Medio	De 10 a 14	0	0.00%	277	49%
Alto	De 15 a 20	567	99.65%	147	26%
Total		569	100%	569	100%

Desde una óptica orientada en torno a la adopción tecnológica en los contextos de educación, los resultados de la Tabla 9 constatan que el efecto que ejerce la percepción de la utilidad se encuentra mediado por la manera en que esta se traduce en prácticas concretas de como aprender. Reconocer la conveniencia funcional de la inteligencia artificial no asegura, ni de lejos, alcanzar un uso estratégico asociado al rendimiento académico. De esta forma, los resultados obtenidos evidencian que la percepción favorable debe ir acompañada de competencias para integrar la tecnología en procesos que requieran razonamiento crítico, toma de decisiones y reflexión académica. La utilidad percibida adquiere por tanto una verdadera relevancia en la medida en que se convierte en un uso estratégico y cognitivamente determinado de las herramientas de IA dentro del proceso educativo.

3.5 Análisis inferencial y contrastación de hipótesis

Los resultados del análisis inferencial que se ofrecen en la Tabla 10 muestran la existencia de relaciones significativas en el uso de la inteligencia artificial y el rendimiento de los estudiantes universitarios, encontrando relaciones positivas de nivel moderado entre la accesibilidad y la frecuencia del uso de herramientas de IA con el rendimiento, ambos con coeficientes de correlación idénticos y magnitudes de significancia muy altas, indicando que la disponibilidad de recursos tecnológicos y su uso recurrente se encontraría asociado a un buen rendimiento de forma constante (pero no determinante), y la existencia de significación estadística asegura que estas relaciones no se producen al azar, sino que explican patrones sistemáticos de comportamiento académico en la población que se estudia.

Tabla 10. Relación entre el uso de inteligencia artificial y rendimiento académico

Dimensión	Coefficiente (q)	Valor p	Interpretación
Accesibilidad de herramientas de IA	0.544**	<.001	Correlación positiva baja pero significativa
Frecuencia de uso de IA	0.544**	<.001	
Tipo de herramienta de IA	0.836**	<.001	
Percepción de utilidad de IA	0.314**	<.001	

Un aspecto a tener en cuenta de los análisis que se han expuesto en la Tabla 10, representa la correlación positiva muy alta de la categoría de la herramienta de inteligencia artificial utilizada, que acumula el coeficiente más alto entre las dimensiones que fueron objeto de estimación. Este hallazgo indica que las características y las funcionalidades propias de las soluciones tecnológicas utilizadas han tenido una influencia diferente sobre el rendimiento académico. En cambio, la percepción de utilidad de la IA, a pesar de que la correlación es significativa, es menos intensa que en el caso anterior, lo que implica que la valoración subjetiva de la tecnología no conlleva necesariamente mejoras del propio rendimiento. De este modo, estos resultados corroboran las hipótesis planteadas y nos permiten establecer que el rendimiento académico asociado a la inteligencia artificial depende de diferentes dimensiones tecnológicas y que cada una de ellas va a tener una influencia distinta en función de la forma en que esté integrado en el proceso educativo.

3.6 Marco cíclico para la integración adaptativa de plataformas impulsadas por IA

En este apartado se comparte una propuesta para poner en marcha la formalización del proceso de implementación e incorporación de plataformas tecnológicas concretadas por la inteligencia artificial en el entorno universitario, a fin de consolidarse de manera sostenida en el mejoramiento del rendimiento académico. La Figura 2, presenta la propuesta que se basa en un enfoque cíclico de mejora continua, en el que la inteligencia artificial no se asocia de una forma aislada, sino como una parte dinámica integrada en el interior de la planificación, la ejecución, la evaluación y el ajuste de los procesos formativos.

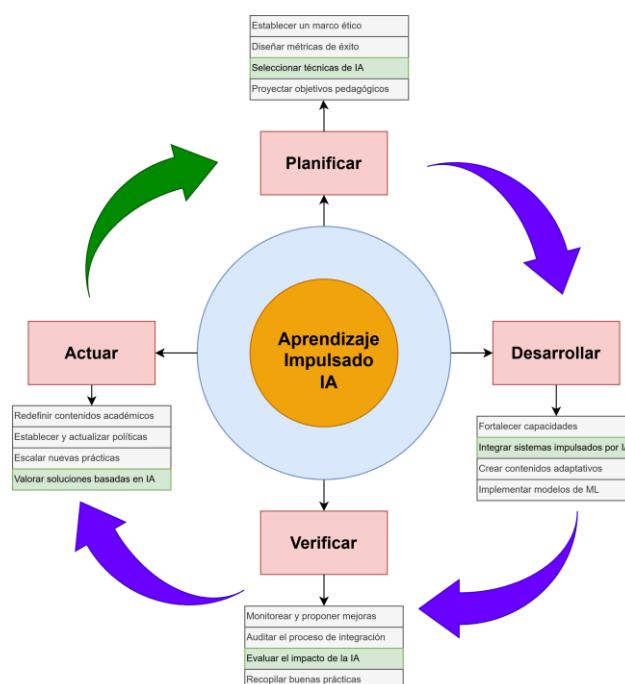


Figura 2. Marco adaptativo de aprendizaje impulsado por IA en contextos universitarios

En este sentido, el aprendizaje impulsado por IA aparece como el hilo que une tecnología, pedagogía y toma de decisiones académicas, dado que permite dar respuesta de manera flexible a las verdaderas exigencias del alumnado y la situación de la institución. En la primera fase, la de Planificar, se orienta a la definición estratégica de la práctica de los usos de tecnologías de IA. En esta fase se establecen principios éticos, se delimitan métricas de éxito académico y se elige aquellas técnicas de inteligencia artificial que mejor funcionan, a tenor de los objetivos pedagógicos. No sólo se tiene en cuenta la viabilidad técnica en esta planificación, sino también la coherencia curricular y el impacto en relación con los procesos de aprendizaje, asegurando de siempre que el uso de la tecnología desemboque en determinados fines formativos, claros y medibles. Mientras que en la etapa de Desarrollar la preocupación está en la utilización de las plataformas potenciadas por IA. En este momento se consideran prioritarias las competencias digitales de docentes y alumnos, la inclusión de sistemas inteligentes en los entornos virtuales de aprendizaje, y se elaboran contenidos adaptativos que responden al ritmo y estilos de aprendizaje de los usuarios. También se incluyen modelos de “machine learning” que permiten realizar una experiencia mucho más personalizada y a la vez propician una interacción más activa y significativa con los contenidos académicos.

Luego, la etapa de Verificar es también fundamental para el control y la retroalimentación. En esta etapa se verifica el uso de las plataformas, se mide el impacto real de la inteligencia artificial en el rendimiento académico y se audita el proceso de integración de la tecnología. A parte, el análisis de datos de carácter educativo y la recopilación de buenas prácticas permiten detectar fortalezas y limitaciones, y también posibles oportunidades de mejora, así como controlar que el uso de la inteligencia artificial sea coherente con los objetivos académicos establecidos. Por último, la etapa de Actuar está centrada en la toma de decisiones correctivas y evolutivas. Gracias a los resultados obtenidos se redefinen los contenidos académicos, se cambian las políticas institucionales, se escalan las prácticas tecnológicas que han producido los mejores resultados en el aprendizaje. Esta etapa consagra el carácter adaptativo del modelo, por el cual las soluciones en IA son principalmente sostenibles, y a la vez son también dinámicas a la hora de cómo pueden incrementar el rendimiento académico a partir del marco de la innovación educativa.

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos del presente estudio revelan un panorama multidimensional respecto a la integración de plataformas digitales de aprendizaje impulsadas por inteligencia artificial en la educación superior. La adopción prácticamente universal de estas tecnologías entre los estudiantes de la Escuela Profesional de Administración de la Universidad Nacional de Tumbes (95.6% de los participantes reportan su uso regular) constituye un indicador tangible de la transformación del ecosistema educativo contemporáneo. Este fenómeno se alinea con las tendencias globales documentadas en la literatura reciente, donde las instituciones de educación superior experimentan una acelerada digitalización impulsada tanto por la disponibilidad tecnológica como por las expectativas estudiantiles de experiencias de aprendizaje más personalizadas y flexibles [36] [37]. No obstante, la presente investigación evidencia que la mera disponibilidad o frecuencia de uso de herramientas de IA no se traduce automáticamente en mejoras sustantivas del rendimiento académico, lo cual plantea interrogantes fundamentales sobre los mecanismos mediadores que determinan la efectividad de estas tecnologías educativas.

La paradoja observada entre la elevada accesibilidad a herramientas de IA (99.65% de los estudiantes reportan acceso de nivel alto) y la distribución moderada del rendimiento académico (solo 26% alcanza nivel alto) constituye uno de los hallazgos más significativos de esta investigación. Esta disociación entre acceso tecnológico y logro académico refuerza los argumentos teóricos que distinguen entre disponibilidad instrumental y apropiación pedagógica efectiva de las tecnologías

educativas [38] [39]. La literatura contemporánea sobre sistemas adaptativos de aprendizaje sugiere que la efectividad de las plataformas de IA depende críticamente de variables contextuales que incluyen la alfabetización digital del estudiantado, la calidad del diseño instruccional que acompaña la implementación tecnológica, y el nivel de acompañamiento pedagógico proporcionado por los docentes [36]. En contextos de educación superior latinoamericana, donde persisten brechas significativas en competencias digitales avanzadas y donde los marcos institucionales para la integración de IA educativa aún se encuentran en desarrollo, resulta comprensible que el acceso tecnológico por sí solo no garantice transformaciones sustantivas en los resultados de aprendizaje. Este fenómeno expone la necesidad de políticas institucionales que trasciendan la provisión de infraestructura tecnológica y avancen hacia modelos integrales que contemplen la formación docente, el desarrollo de competencias digitales estudiantiles, y el diseño de estrategias pedagógicas específicamente orientadas a maximizar el potencial de las herramientas de IA disponibles.

La correlación positiva moderada ($\rho = 0.544$, $p < .001$) entre la frecuencia de uso de herramientas de IA y el rendimiento académico requiere una interpretación matizada que distinga entre uso intensivo y uso estratégico. Aunque una proporción considerable de estudiantes reporta emplear estas tecnologías semanalmente (57.6%) o incluso diariamente (18.8%), la magnitud moderada del coeficiente de correlación muestra que la frecuencia, en ausencia de otras variables mediadoras, ejerce una influencia limitada sobre el desempeño académico. Esta observación encuentra respaldo en una investigación reciente sobre aprendizaje adaptativo, las cuales demuestran que la efectividad de las plataformas de IA depende fundamentalmente de la naturaleza cognitiva de las actividades realizadas mediante estas herramientas [40]. Específicamente, existe evidencia empírica que indica que el uso de IA para tareas de orden cognitivo inferior—tales como la búsqueda automatizada de información o la generación mecánica de respuestas—aporta beneficios limitados al aprendizaje profundo, mientras que su empleo para actividades que demandan procesamiento metacognitivo, análisis crítico o síntesis conceptual se asocia con mejoras más sustantivas en el rendimiento académico [41]. Por tanto, estudiantes con alta frecuencia de uso no necesariamente exhiben rendimiento superior lo que evidencia la presencia de patrones de uso superficial, donde las herramientas se emplean primordialmente como facilitadores de eficiencia temporal en lugar de instrumentos para el desarrollo de competencias cognitivas avanzadas. Esta interpretación se ve reforzada por las preocupaciones expresadas por los propios estudiantes respecto a la posibilidad de dependencia excesiva de la tecnología (16.5%) y el deterioro del pensamiento crítico (16.5%), lo cual indica una conciencia emergente sobre los riesgos asociados al uso no reflexivo de la IA en contextos educativos.

En este sentido, el hallazgo más robusto del presente estudio reside en la correlación positiva alta ($\rho = 0.836$, $p < .001$) entre el tipo de herramienta de IA empleada y el rendimiento académico, la cual representa el coeficiente más elevado entre todas las dimensiones analizadas. Este resultado posee implicaciones teóricas y prácticas de considerable relevancia, dado que demuestra empíricamente que la sofisticación funcional y la pertinencia pedagógica de las herramientas tecnológicas constituyen determinantes más poderosos del desempeño académico que la accesibilidad o frecuencia de uso. Por otro lado, la literatura reciente sobre sistemas inteligentes de tutoría y plataformas de aprendizaje adaptativo corrobora estos hallazgos, documentando que las tecnologías de IA que incorporan algoritmos y modelos de personalización avanzada, retroalimentación adaptativa en tiempo real, y capacidades de análisis del aprendizaje del estudiante generan efectos significativamente más pronunciados sobre los resultados educativos en comparación con herramientas de funcionalidad básica [36] [42]. De igual manera una investigación desarrollada en contextos de educación superior ha demostrado que sistemas de tutoría inteligente basados en modelos de conocimiento del estudiante pueden mejorar el rendimiento académico en porcentajes

que oscilan entre 30% y 54% en comparación con métodos tradicionales, particularmente cuando estas tecnologías se diseñan para promover procesos metacognitivos y habilidades de autorregulación del aprendizaje [43]. En esta línea, el estudio extiende estos hallazgos al contexto latinoamericano, demostrando que estudiantes universitarios que emplean herramientas avanzadas—tales como asistentes virtuales contextuales, sistemas de análisis predictivo del rendimiento, o plataformas de generación de contenido educativo personalizado—exhiben desempeños académicos sustancialmente superiores a aquellos que se limitan al uso de aplicaciones básicas o de propósito general. Esta diferenciación instrumental demuestra que las instituciones de educación superior deberían priorizar no solamente la provisión de acceso tecnológico, sino fundamentalmente la orientación estratégica hacia herramientas de mayor calidad pedagógica y la formación de competencias para su utilización efectiva.

En esta misma dirección, la marcada influencia del tipo de herramienta sobre el rendimiento académico encuentra explicación en los fundamentos teóricos del aprendizaje personalizado y la cognición distribuida. Las plataformas de IA de mayor sofisticación no se limitan a ofrecer información o automatizar procesos rutinarios, sino que operan como medios cognitivos que apoyan procesos de pensamiento de orden superior mediante la estructuración de tareas complejas, la provisión de retroalimentación formativa específica, y la adaptación dinámica del nivel de dificultad y los contenidos en función del progreso individual del estudiante [40] [44]. También un estudio aborda el aprendizaje adaptativo y documentan que estas funcionalidades avanzadas resultan particularmente efectivas para promover la autorregulación del aprendizaje, una competencia metacognitiva que se asocia consistentemente con mejor desempeño académico, mayor motivación intrínseca, y reducción de la deserción estudiantil [45]. No obstante, la literatura también advierte sobre riesgos potenciales asociados al uso de herramientas avanzadas de IA, particularmente el fenómeno de “descarga cognitiva”, mediante el cual los estudiantes pueden desarrollar dependencia excesiva de las capacidades computacionales de estas tecnologías, delegando procesos de pensamiento que deberían desarrollar autónomamente [41]. Un estudio reciente sobre el uso de ChatGPT en educación superior encontró que, si bien la herramienta mejora el rendimiento inmediato en tareas específicas, puede generar simultáneamente “pereza metacognitiva”, reduciendo el esfuerzo mental invertido por los estudiantes y potencialmente comprometiendo el aprendizaje a largo plazo [46]. Estos resultados evidencian la importancia de diseñar intervenciones pedagógicas que equilibren el potencial de las herramientas avanzadas de IA con estrategias explícitas para promover el pensamiento crítico, la reflexión metacognitiva y la autonomía intelectual del estudiantado.

Por otro lado, la correlación positiva baja pero significativa ($\rho = 0.314$, $p < .001$) entre la percepción de utilidad de la IA y el rendimiento académico constituye un hallazgo que requiere interpretación cuidadosa desde marcos teóricos de aceptación tecnológica. Aunque 83.5% de los estudiantes consideran que la IA mejora su eficiencia en el aprendizaje, y una proporción similar (82.4%) percibe efectos positivos sobre su desempeño académico, la magnitud del coeficiente de correlación sugiere que estas creencias ejercen influencia limitada sobre los resultados reales de aprendizaje. Esta aparente disociación entre percepción y desempeño efectivo se alinea con investigaciones previas que demuestran que la utilidad percibida, si bien constituye un predictor robusto de la intención de uso tecnológico, no necesariamente se traduce en mejoras objetivas del rendimiento académico en ausencia de patrones efectivos de utilización [47]. En este mismo camino, el modelo de aceptación tecnológica y su extensión, el modelo unificado de aceptación y uso de la tecnológica, exponen que la percepción de utilidad influye sobre los resultados educativos de manera mediada por variables comportamentales concretas, tales como la intensidad del uso, la diversidad de aplicaciones empleadas, y la integración de la tecnología en estrategias metacognitivas de aprendizaje [48]. Por

tanto, resultados del estudio demuestran que, en el contexto analizado, las actitudes favorables hacia la IA predisponen a los estudiantes hacia la adopción tecnológica pero no garantizan per se el desarrollo de competencias para su uso estratégico. Esta interpretación se ve reforzada por el hecho de que la percepción mayoritariamente positiva coexiste con preocupaciones significativas respecto a la precisión de la información generada por IA (48.2%) y el riesgo de dependencia tecnológica (16.5%), lo cual evidencia una conciencia creciente entre los estudiantes sobre la brecha entre el potencial teórico y los resultados prácticos de estas herramientas.

Asimismo, las preocupaciones expresadas por los estudiantes respecto al uso de IA en educación revelan una comprensión emergente de los riesgos asociados a la integración acrítica de estas tecnologías. La inquietud predominante sobre la posibilidad de recibir respuestas incorrectas o imprecisas (48.2%) refleja una problemática ampliamente documentada en la literatura sobre modelos de lenguaje de gran escala, los cuales, a pesar de su sofisticación técnica, son susceptibles a generar “alucinaciones” —esto es, contenidos que parecen plausibles pero carecen de fundamento fáctico o contienen errores significativos [49]. De igual forma, un reciente trabajo ha demostrado que estudiantes que confían excesivamente en la precisión de sistemas como ChatGPT sin validar críticamente sus respuestas pueden incorporar información errónea en sus trabajos académicos, comprometiendo así la calidad de su aprendizaje y el desarrollo de competencias de evaluación crítica de fuentes [50]. Este fenómeno resulta particularmente problemático en contextos donde los estudiantes carecen de formación explícita en literacidad digital avanzada, incluyendo habilidades para verificar información, identificar sesgos algorítmicos, y evaluar la confiabilidad de contenidos generados por IA. Por otra parte, las preocupaciones sobre el deterioro del pensamiento crítico y la dependencia tecnológica encuentran sustento en evidencia empírica reciente que documenta efectos potencialmente adversos del uso frecuente de IA generativa sobre el desarrollo de habilidades metacognitivas. De igual manera, un estudio experimental demostró que estudiantes que emplean ChatGPT de manera habitual exhiben desempeños significativamente inferiores en tareas que demandan pensamiento crítico, siendo la descarga cognitiva el mecanismo mediador de este efecto negativo [51]. Estas observaciones subrayan la necesidad de desarrollar marcos pedagógicos que orienten el uso responsable y reflexivo de la IA, promoviendo simultáneamente su potencial para el aprendizaje personalizado y la mitigación de riesgos asociados a su adopción acrítica.

Los hallazgos del estudio poseen implicaciones sustantivas para el diseño de políticas institucionales orientadas a la integración efectiva de plataformas digitales impulsadas por IA en la educación superior. En primer término, los resultados evidencian que las intervenciones centradas exclusivamente en la provisión de acceso tecnológico resultan insuficientes para generar transformaciones significativas en el rendimiento académico. Las instituciones universitarias deben evolucionar hacia modelos integrales de innovación educativa que contemplen simultáneamente:

- La formación docente en pedagogías digitales y diseño instruccional mediado por IA.
- El desarrollo sistemático de competencias de literacidad digital avanzada entre los estudiantes, incluyendo habilidades para el uso crítico y estratégico de herramientas de IA.
- La selección e implementación de plataformas tecnológicas que privilegien funcionalidades pedagógicamente relevantes, tales como personalización adaptativa, retroalimentación formativa, y analíticas de aprendizaje.
- El establecimiento de marcos éticos y regulatorios que aborden cuestiones de privacidad de datos, transparencia algorítmica, y equidad en el acceso a tecnologías educativas avanzadas.

Para complementar lo antes expuesto, una investigación reciente sobre IA en educación superior señala que las instituciones que adoptan enfoques sistémicos y pedagógicamente fundamentados

logran mejores resultados que aquellas que implementan tecnologías de manera fragmentaria o exclusivamente orientada por consideraciones de eficiencia administrativa [52]. En segundo término, el hallazgo de que el tipo de herramienta constituye el predictor más robusto del rendimiento académico expone que las inversiones institucionales deberían priorizarse hacia la adquisición de plataformas de mayor calidad pedagógica, aun cuando esto implique costos superiores o procesos de implementación más complejos. Asimismo, la literatura sobre retorno de inversión en tecnología educativa documenta que sistemas adaptativos de aprendizaje de alta calidad pueden generar mejoras en la retención estudiantil, reducción de tasas de reprobación, y acortamiento de tiempos de titulación que justifican ampliamente los costos asociados a su implementación [53].

Por último, el marco cíclico de integración adaptativa de plataformas impulsadas por IA propuesto en este estudio—estructurado en las fases de Planificar, Desarrollar, Verificar y Actuar—constituye una contribución metodológica orientada a sistematizar la innovación educativa mediada por tecnología en contextos universitarios. Este modelo se fundamenta en principios de mejora continua derivados de enfoques de gestión de calidad y se alinea con recomendaciones internacionales sobre implementación responsable de IA en educación, tales como las directrices de la UNESCO sobre IA y educación abierta. La fase de planificación enfatiza la importancia de establecer objetivos pedagógicos claros, criterios éticos explícitos, y métricas de éxito académico definidas a priori, evitando así implementaciones tecnológicas desarticuladas de los propósitos formativos institucionales. La fase de desarrollo no solo responde a la componente técnica de llevar a cabo las plataformas, sino que también tiene que ver, sobre todo, con los procesos de formación del profesorado y el desarrollo de competencias del alumnado, los cuales son fundamentales para la buena utilización de las tecnologías. La fase de verificación considera procesos de evaluación continua del impacto en el aprendizaje, tanto a partir de métricas cuantitativas (rendimiento académico, tasas de retención), como de indicadores cualitativos (satisfacción del alumnado, percepción del profesorado, calidad de las experiencias de aprendizaje, etc.). Por ello, la fase de la acción asegura que los resultados de la verificación informen las decisiones de mejorar, escalar o rediseñar las intervenciones tecnológicas. Las futuras investigaciones deberían evaluar la efectividad de este modelo, mediante estudios que relaten una evaluación continua y su impacto en resultados de aprendizaje a medio y largo plazo, así como su viabilidad en diferentes extremos institucionales y disciplinares. Es prioritario también desarrollar investigación que trate los efectos diferenciales de las plataformas de IA sobre diferentes poblaciones estudiantiles (considerando variables como nivel socioeconómico, sexo, etnia, modalidad de estudio, etc.) para asegurar que contribuyan a la equidad educativa, en lugar de reforzar desigualdades preexistentes.

V. CONCLUSIONES

Los resultados revelan que la introducción de plataformas de aprendizaje digital soportadas por inteligencia artificial está profundamente arraigada en términos de acceso y uso. Sin embargo, su efecto sobre el rendimiento académico no sigue una lógica automática y lineal. Los resultados indican que la disponibilidad de dispositivos tecnológicos e incluso la cantidad de veces que se usaron herramientas de inteligencia artificial no tienen un peso importante en el rendimiento académico obtenido, desnudando la existencia de factores mediadores vinculados a la calidad del uso y a su integración pedagógica. Así, la inteligencia artificial se presenta como un recurso con posibilidades “extendibles” en el mundo educativo, siendo su efecto el resultado de una interrelación entre el tipo de uso que se le da y la vinculación con prácticas didácticas vinculadas al desarrollo de competencias cognitivas y de autogestión del aprendizaje.

A su vez, el análisis inferencial corrobora que el tipo de herramienta de inteligencia artificial utilizada es la variable de mayor capacidad explicativa del rendimiento académico, superando variables como la accesibilidad, la frecuencia de uso y la percepción de utilidad. Por ello no todas las tecnologías basadas en IA son capaces de hacer el mismo tipo de impacto educativo y de que su valor académico reside en la pertinencia funcional y pedagógica de las plataformas íntegras a las que se tienen acceso. Por tanto, el uso de la inteligencia artificial en la educación superior debe tener como telón de fondo modelos institucionales que promuevan la selección de herramientas adecuadas, que incluyan el acompañamiento pedagógico y la mejora continua, asegurando así que la innovación tecnológica tenga un efecto claro y duradero sobre el fortalecimiento de la educación universitaria.

Contribución de los autores:

Todos los autores contribuyeron igualmente en la concepción, el diseño del estudio, la recogida y el análisis de los datos, la redacción del estudio, así como en su revisión.

Agradecimientos:

Se expresa un profundo reconocimiento a la Universidad Nacional de Tumbes por el apoyo brindado.

Financiamiento:

El estudio ha sido autofinanciado por los autores.

Declaración de consentimiento informado:

Los participantes otorgaron su consentimiento informado de manera voluntaria antes de su participación en el estudio.

Declaración de disponibilidad de datos:

Los datos que respaldan los resultados de este estudio están disponibles previa solicitud razonable al autor correspondiente.

Conflictos de intereses:

No existen conflictos de intereses.

Declaración de uso de IA:

No se utilizó ninguna herramienta de IA. El contenido académico es responsabilidad exclusiva del autor.

REFERENCIAS

- [1] L. Chen, P. Chen, and Z. Lin, "Artificial Intelligence in Education: A Review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 75264–75278, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- [2] E. Du Plooy, D. Casteleijn, and D. Franzsen, "Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement," *Heliyon*, vol. 10, no. 21, p. e39630, Nov. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630>
- [3] I. M. Castillo-Martínez, D. Flores-Bueno, S. M. Gómez-Puente, and V. O. Vite-León, "AI in higher education: a systematic literature review," *Front. Educ.*, vol. 9, p. 1391485, Aug. 2024. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1391485>
- [4] K. Bayly-Castaneda, M.-S. Ramirez-Montoya, and A. Morita-Alexander, "Crafting personalized learning paths with AI for lifelong learning: a systematic literature review," *Front. Educ.*, vol. 9, p. 1424386, Aug. 2024. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1424386>
- [5] F. Naseer, M. N. Khan, M. Tahir, A. Addas, and S. M. H. Aejaz, "Integrating deep learning techniques for personalized learning pathways in higher education," *Heliyon*, vol. 10, no. 11, p. e32628, Jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32628>
- [6] A. Létourneau, M. Deslandes Martineau, P. Charland, J. A. Karran, J. Boasen, and P. M. Léger, "A systematic review of AI-driven intelligent tutoring systems (ITS) in K-12 education," *npj Sci. Learn.*, vol. 10, no. 1, p. 29, May 2025. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00320-7>

- [7] Y. Assefa, M. M. Gebremeskel, B. T. Moges, S. A. Tilwani, and Y. A. Azmera, "Rethinking the digital divide and associated educational in(equity) in higher education in the context of developing countries: the social justice perspective," *IJILT*, vol. 42, no. 1, pp. 15–32, Jan. 2025. <https://doi.org/10.1108/IJILT-03-2024-0058>
- [8] A. Ancheta-Arrabal, C. Pulido-Montes, and V. Carvajal-Mardones, "Gender Digital Divide and Education in Latin America: A Literature Review," *Education Sciences*, vol. 11, no. 12, p. 804, Dec. 2021. <https://doi.org/10.3390/educsci11120804>
- [9] J. García-Martín and J.-N. García-Sánchez, "The Digital Divide of Know-How and Use of Digital Technologies in Higher Education: The Case of a College in Latin America in the COVID-19 Era," *IJERPH*, vol. 19, no. 6, p. 3358, Mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063358>
- [10] H. U. Rahiman and R. Kodikal, "Revolutionizing education: Artificial intelligence empowered learning in higher education," *Cogent Education*, vol. 11, no. 1, p. 2293431, Dec. 2024. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2293431>
- [11] L. Sun and L. Zhou, "Does Generative Artificial Intelligence Improve the Academic Achievement of College Students? A Meta-Analysis," *Journal of Educational Computing Research*, vol. 62, no. 7, pp. 1676–1713, Dec. 2024. <https://doi.org/10.1177/07356331241277937>
- [12] J. Garzón, E. Patiño, and C. Marulanda, "Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges," *MTI*, vol. 9, no. 8, p. 84, Aug. 2025. <https://doi.org/10.3390/mti9080084>
- [13] K.-J. Laak and J. Aru, "AI and personalized learning: bridging the gap with modern educational goals," Mar. 21, 2025, *arXiv*: arXiv:2404.02798. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.02798>
- [14] D. Palal, S. Ghonge, V. Jadav, and H. Rathod, "ChatGPT: A Double-Edged Sword?," *Health Serv Insights*, vol. 16, p. 11786329231174338, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1177/11786329231174338>
- [15] N. Abdallah, R. Katmah, K. Khalaf, and H. F. Jelinek, "Systematic review of ChatGPT in higher education: Navigating impact on learning, wellbeing, and collaboration," *Social Sciences & Humanities Open*, vol. 12, p. 101866, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101866>
- [16] M. A. Adarkwah, S. A. Badu, E. A. Osei, E. Adu-Gyamfi, J. Odame, and K. Schneider, "ChatGPT in healthcare education: a double-edged sword of trends, challenges, and opportunities," *Discov Educ*, vol. 4, no. 1, p. 14, Jan. 2025. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00393-3>
- [17] I. García-Martínez, J. M. Fernández-Batanero, J. Fernández-Cerero, and S. P. León, "Analysing the Impact of Artificial Intelligence and Computational Sciences on Student Performance: Systematic Review and Meta-analysis," *J. New Approaches Educ. Res.*, vol. 12, no. 1, pp. 171–197, Jan. 2023. <https://doi.org/10.7821/naer.2023.1.1240>
- [18] Y. Assefa, M. M. Gebremeskel, B. T. Moges, S. A. Tilwani, and Y. A. Azmera, "Rethinking the digital divide and associated educational in(equity) in higher education in the context of developing countries: the social justice perspective," *IJILT*, vol. 42, no. 1, pp. 15–32, Jan. 2025. <https://doi.org/10.1108/IJILT-03-2024-0058>
- [19] K. (Kai L. Hon, "Generative AI in Higher Education: A Systematic Review of Its Effects on Learning Outcomes and Academic Performance," *Journal of Educational Technology Systems*, p. 00472395251400089, Nov. 2025. <https://doi.org/10.1177/00472395251400089>
- [20] V. N. Acosta Pastor and W. H. Carcausto Calla, "Inteligencia artificial y aprendizaje cooperativo en estudiantes universitarios," Jul. 24, 2024, *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.12812908>
- [21] R. E. Cruz-Avalos, T. D. R. Merino-Salazar, S. K. Quiroz-Quiroz, and F. K. Cruz-Quiroz, "Uso Inteligencia Artificial en Estudiantes Educación Superior Pedagógica," *RTED*, vol. 18, no. 2, pp. 311–323, Nov. 2025. <https://doi.org/10.37843/rted.v18i2.721>
- [22] J. E. Carhuaricra Espinoza, R. R. Cornejo Flores, J. S. Gora Chamorro, C. Cornejo Flores, and E. E. Nina Cuchillo, "Competencias Investigativas e Inteligencia Artificial en Estudiantes de una Universidad Privada en Lima, Perú," *Ciencia Latina*, vol. 8, no. 4, pp. 10785–10804, Sep. 2024. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13223
- [23] J. H. Delgado Romero, J. Vigil Rimarachin, and J. Gaspar Pérez, "Competencias cibernéticas y habilidades investigativas: claves para la transformación educativa en universitarios de la región San Martín, Perú," *Desafíos*, vol. 16, no. 2, Jul. 2025. <https://doi.org/10.37711/desafios.2025.16.2.4>
- [24] A. B. Wilson et al., "Survey response rates in health sciences education research: A 10-year meta-analysis," *Anatomical Sciences Ed*, vol. 17, no. 1, pp. 11–23, Jan. 2024. <https://doi.org/10.1002/ase.2345>
- [25] M.-J. Wu, K. Zhao, and F. Fils-Aime, "Response rates of online surveys in published research: A meta-analysis," *Computers in Human Behavior Reports*, vol. 7, p. 100206, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2022.100206>
- [26] A. Ghasemi and S. Zahediasl, "Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians," *Int J Endocrinol Metab*, vol. 10, no. 2, pp. 486–489, Dec. 2012. <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>

- [27] P. Mishra, C. Pandey, U. Singh, A. Gupta, C. Sahu, and A. Keshri, "Descriptive statistics and normality tests for statistical data," *Ann Card Anaesth*, vol. 22, no. 1, p. 67, 2019. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18
- [28] K. S. Taber, "The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education," *Res Sci Educ*, vol. 48, no. 6, pp. 1273–1296, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- [29] Y. F. Zakariya, "Cronbach's alpha in mathematics education research: Its appropriateness, overuse, and alternatives in estimating scale reliability," *Front. Psychol.*, vol. 13, p. 1074430, Dec. 2022. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1074430>
- [30] J. Hauke and T. Kossowski, "Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on the Same Sets of Data," *Quaestiones Geographicae*, vol. 30, no. 2, pp. 87–93, Jun. 2011. <https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>
- [31] C. R. Brydges, "Effect Size Guidelines, Sample Size Calculations, and Statistical Power in Gerontology," *Innovation in Aging*, vol. 3, no. 4, p. igz036, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1093/geroni/igz036>
- [32] I. S. H. Alwahaibi, D. A. M. Al-Hadabi, and H. A. T. Al-Kharousi, "Cohen's criteria for interpreting practical significance indicators: A critical study," *CJES*, vol. 15, no. 2, pp. 246–258, Apr. 2020. <https://doi.org/10.18844/cjes.v15i2.4624>
- [33] J. P. A. Ioannidis, "Why Most Published Research Findings Are False," *PLoS Med*, vol. 2, no. 8, p. e124, Aug. 2005. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020124>
- [34] F. Huang and B. Keller, "Working with missing data in large-scale assessments," *Large-scale Assess Educ*, vol. 13, no. 1, p. 13, Apr. 2025. <https://doi.org/10.1186/s40536-025-00248-9>
- [35] P. Schober and T. R. Vetter, "Missing Data and Imputation Methods," *Anesthesia & Analgesia*, vol. 131, no. 5, pp. 1419–1420, Nov. 2020. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000005068>
- [36] Hariyanto, F. X. D. Kristianingsih, and R. Maharani, "Artificial intelligence in adaptive education: a systematic review of techniques for personalized learning," *Discov Educ*, vol. 4, no. 1, p. 458, Oct. 2025. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6>
- [37] A. M. Vieriu and G. Petrea, "The Impact of Artificial Intelligence (AI) on Students' Academic Development," *Education Sciences*, vol. 15, no. 3, p. 343, Mar. 2025. <https://doi.org/10.3390/educsci15030343>
- [38] H. A. Hamzah, M. S. Abu Seman, and M. Ahmed, "The impact of artificial intelligence in enhancing online learning platform effectiveness in higher education," *Information Development*, vol. 41, no. 3, pp. 794–810, Sep. 2025. <https://doi.org/10.1177/02666669251315842>
- [39] W. Strielkowski, V. Grebennikova, A. Lisovskiy, G. Rakhimova, and T. Vasileva, "AI-driven adaptive learning for sustainable educational transformation," *Sustainable Development*, vol. 33, no. 2, pp. 1921–1947, Apr. 2025. <https://doi.org/10.1002/sd.3221>
- [40] I. Molenaar, "The concept of hybrid human-AI regulation: Exemplifying how to support young learners' self-regulated learning," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 3, p. 100070, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100070>
- [41] S. Maral, N. Naycı, H. Bilmez, E. İ. Erdemir, and S. A. Satici, "Problematic ChatGPT Use Scale: AI-Human Collaboration or Unraveling the Dark Side of ChatGPT," *Int J Ment Health Addiction*, Jun. 2025. <https://doi.org/10.1007/s11469-025-01509-y>
- [42] S. Maghsudi, A. Lan, J. Xu, and M. Van Der Schaar, "Personalized Education in the Artificial Intelligence Era: What to Expect Next," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 38, no. 3, pp. 37–50, May 2021. <https://doi.org/10.1109/MSP.2021.3055032>
- [43] E. Farrow, J. Moore, and D. Gašević, "Ordering Effects in a Role-Based Scaffolding Intervention for Asynchronous Online Discussions," in *Artificial Intelligence in Education*, vol. 12748, I. Roll, D. McNamara, S. Sosnovsky, R. Luckin, and V. Dimitrova, Eds., in Lecture Notes in Computer Science, vol. 12748, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 125–136. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78292-4_11
- [44] C. Dignath and M. V. J. Veenman, "The Role of Direct Strategy Instruction and Indirect Activation of Self-Regulated Learning—Evidence from Classroom Observation Studies," *Educ Psychol Rev*, vol. 33, no. 2, pp. 489–533, Jun. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09534-0>
- [45] X. Li, F. Ouyang, and W. Chen, "Examining the effect of a genetic algorithm-enabled grouping method on collaborative performances, processes, and perceptions," *J Comput High Educ*, vol. 34, no. 3, pp. 790–819, Dec. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12528-022-09321-6>
- [46] J. Wang and W. Fan, "The effect of ChatGPT on students' learning performance, learning perception, and higher-order thinking: insights from a meta-analysis," *Humanit Soc Sci Commun*, vol. 12, no. 1, p. 621, May 2025. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04787-y>

- [47] S. Freire, C. Roçadas, J. Pipa, and C. Aguiar, "Classroom social networks, students' peer-related social experiences and sense of belonging: The specific case of students with SEN," *British Educational Res J*, vol. 50, no. 4, pp. 1617–1635, Aug. 2024. <https://doi.org/10.1002/berj.3989>
- [48] C.-H. Liu, Y.-T. Chen, S. Kittikowit, T. Hongsuchon, and Y.-J. Chen, "Using Unified Theory of Acceptance and Use of Technology to Evaluate the Impact of a Mobile Payment App on the Shopping Intention and Usage Behavior of Middle-Aged Customers," *Front. Psychol.*, vol. 13, p. 830842, Mar. 2022. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.830842>
- [49] G. Cooper, "Examining Science Education in ChatGPT: An Exploratory Study of Generative Artificial Intelligence," *J Sci Educ Technol*, vol. 32, no. 3, pp. 444–452, Jun. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10039-y>
- [50] E. Levring Jäghagen, T. De Lange, G. Torgersen, A. Møystad, and J. Ahlqvist, "The use of post-exam feedback in oral radiology: A survey study of dental and dental hygienist schools in Europe," *Eur J Dental Education*, vol. 27, no. 4, pp. 1048–1052, Nov. 2023. <https://doi.org/10.1111/eje.12897>
- [51] M. Gerlich, "Public Anxieties About AI: Implications for Corporate Strategy and Societal Impact," *Administrative Sciences*, vol. 14, no. 11, p. 288, Nov. 2024. <https://doi.org/10.3390/admsci14110288>
- [52] K. Ahmad et al., "Data-Driven Artificial Intelligence in Education: A Comprehensive Review," *IEEE Trans. Learning Technol.*, vol. 17, pp. 12–31, 2024. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3314610>
- [53] T. Cavanagh, B. Chen, R. A. M. Lahcen, and J. Paradiso, "Constructing a Design Framework and Pedagogical Approach for Adaptive Learning in Higher Education: A Practitioner's Perspective," *IRRODL*, vol. 21, no. 1, pp. 172–196, Jan. 2020. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v21i1.4557>

PROTOTIPO DE BALANZA AUTOMÁTICA PARA UN DESGRANADOR DE MAÍZ UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

PROTOTYPE OF AN AUTOMATIC SCALE FOR A CORN SHELLER USING INFORMATION TECHNOLOGY

Nathaly Aspiazu-Sevillano , Charles Pérez-Espinoza , Teresa Samaniego-Cobo* 

Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, 090112, Ecuador

*Autor de Correspondencia: tsamaniego@uagraria.edu.ec

Historial del artículo:

Recibido: 20.11.2025

Revisado: 05.12.2025

Aceptado: 29.12.2025

En línea: 15.01.2026

Palabras clave:

Automatización

Agrícola

Desgranador

Maíz

Tecnología

Keywords:

Automation

Agricultural

Sheller

Corn

Technology

Cómo citar:

N. Aspiazu-Sevillano, C. Pérez-Espinoza y T. Samaniego-Cobo, «Prototipo de balanza automática para un desgranador de maíz utilizando tecnologías de la información», *International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI*, vol. 2, n.º 1, pp. 70–91, ene. 2026. doi: [10.64439/cisai.v2i1.26](https://doi.org/10.64439/cisai.v2i1.26)

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC-BY-NC-ND



Resumen:

El estudio describe el diseño y la evaluación de un prototipo de balanza automática integrada a un desgranador de maíz, orientado a mejorar la eficiencia y el control de los procesos postcosecha mediante el uso de tecnologías de la información. La evaluación del prototipo se realizó a través de validación experta, considerando indicadores de eficiencia operativa, integración tecnológica, precisión y confiabilidad, así como viabilidad y escalabilidad. Los resultados evidencian una aceptación general moderada-favorable (58.33%), destacando el indicador de viabilidad y escalabilidad como el mejor valorado (65.33%), lo que refleja un reconocimiento del potencial de implementación de la solución propuesta. No obstante, los expertos identificaron áreas críticas de mejora relacionadas con la precisión metrológica y la integración sistémica, propias de tecnologías en etapas tempranas de desarrollo. En conjunto, los hallazgos sugieren que el prototipo constituye una alternativa tecnológicamente pertinente para la modernización de procesos postcosecha en el sector agrícola. Asimismo, se plantea la incorporación futura de técnicas de inteligencia artificial como una vía para perfeccionar el desempeño del sistema y fortalecer su escalabilidad en entornos de agricultura de precisión.

Abstract:

The study describes the design and evaluation of a prototype automatic scale integrated into a corn sheller, aimed at improving the efficiency and control of post-harvest processes through the use of information technologies. The prototype was evaluated through expert validation, considering indicators of operational efficiency, technological integration, accuracy, and reliability, as well as feasibility and scalability. The results show moderate-favorable overall acceptance (58.33%), with the feasibility and scalability indicator receiving the highest rating (65.33%), reflecting recognition of the implementation potential of the proposed solution. However, the experts identified critical areas for improvement related to metrological accuracy and systemic integration, which are typical of technologies in the early stages of development. Overall, the findings suggest that the prototype is a technologically relevant alternative for the modernization of post-harvest processes in the agricultural sector. Likewise, the future incorporation of artificial intelligence techniques is proposed as a way to improve the system's performance and strengthen its scalability in precision agriculture environments.

I. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola constituye uno de los movimientos más relevantes de la economía global, representando no solo una fuente primordial de alimentación, sino también un motor económico esencial para millones de familias en países en desarrollo. Dentro de este contexto, el maíz es uno de los cultivos más significativos a nivel mundial, ocupando posición estratégica en términos de producción global junto con el trigo y el arroz. Erenstein et al. [1] documentan que la producción global de maíz ha experimentado un crecimiento acelerado en las últimas décadas, impulsada por el aumento de la demanda y una combinación de avances tecnológicos, incrementos en el rendimiento y expansión del área cultivada, consolidándose como el principal cereal en términos de volumen de producción y proyectándose como el cultivo más ampliamente cultivado y comercializado en la próxima década. Su relevancia trasciende el ámbito alimentario, extendiéndose hacia sectores industriales, ganaderos y energéticos, lo que lo convierte en un “commodity” estratégico para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico sostenible. En el caso particular de Ecuador, esta realidad se manifiesta de manera acentuada, donde el maíz representa un componente crucial del sistema agroalimentario nacional y una fuente de ingresos vital para aproximadamente 100,000 familias de pequeños y medianos productores distribuidos en diversas regiones del país.

A pesar del volumen significativo de producción y del incremento sostenido en la superficie sembrada durante las últimas décadas, el sector maicero ecuatoriano enfrenta desafíos tecnológicos considerables que limitan su eficiencia operativa y competitividad. Las pérdidas postcosecha representan una problemática crítica en la producción de cereales. Kumar y Kalita [2] documentan que entre el 50-60% de los granos de cereales pueden perderse durante la etapa de almacenamiento debido exclusivamente a ineficiencias técnicas en países en desarrollo, mientras que Nath et al. [3] señalan que las pérdidas postcosecha en maíz en África varían entre 10% y 20% del peso total, con algunas regiones experimentando pérdidas de hasta 25-35%. Los procesos de postcosecha, particularmente las operaciones de desgrane y pesaje del maíz continúan ejecutándose mediante metodologías tradicionales que presentan múltiples deficiencias. Para este caso de estudio, el sistema convencional empleado en la provincia de Los Ríos y otras zonas productoras requiere que los trabajadores transporten manualmente los sacos de maíz recién desgranado desde la máquina desgranadora hasta una balanza mecánica ubicada en una superficie plana, proceso durante el cual se generan pérdidas inevitables de grano que cae al suelo durante el traslado. Esta merma no solo representa un desperdicio económico directo para el agricultor, sino que además compromete la precisión en el control de peso total de la producción, variable crítica para los procesos de comercialización y trazabilidad del producto.

La brecha tecnológica observada en los procesos de postcosecha del maíz contrasta notablemente con los avances experimentados en otros sectores agroindustriales, donde la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 ha permitido mejorar significativamente la eficiencia operativa y la calidad de los productos. La agricultura de precisión, impulsada por la convergencia de sensores inteligentes y tecnologías avanzadas, ha emergido como una fuerza transformadora en las prácticas agrícolas modernas [4]. Por tanto, las tecnologías de la información y la comunicación, el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas embebidos han cambiado la manera de llevar a cabo los procesos productivos en la agricultura. Por ejemplo, Ayaz et al. [5] ponen de manifiesto que la integración del IoT con las redes de sensores inalámbricos da lugar a sistemas inteligentes de gestión agrícola basada en la toma de decisiones de datos en tiempo real. Recoger datos de big data obtenidos de múltiples orígenes, especialmente de sensores in situ y sensores móviles, es importante en cuanto al hecho de permitir el despliegue de capacidades predictivas para la agricultura de precisión [6]. Por su parte, Ferrández-Pastor et al. [7] relatan la consecución de plataformas de redes de sensores ubicuos (ubiquitous) satisfactorias utilizando IoT en aplicaciones para agricultura de precisión, apuntando que pueden conllevar a la mejora de la calidad, a la eficiencia de la producción, a la disminución del impacto ambiental y a la disminución de los recursos como energía o agua entre otros.

En el campo específico de los sistemas de medición de peso, las celdas de carga que se basan en galgas extensométricas son tecnologías de uso ampliamente extendido en aplicaciones industriales y agrarias. Las celdas de carga surten efecto transformando la fuerza mecánica (peso) en señales eléctricas que pueden ser procesadas y visualizadas como mediciones de peso, ofreciendo buena precisión, fiabilidad y durabilidad [8]. En la literatura científica se recogen muchos esfuerzos que se han llevado a cabo para el desarrollo de sistemas de pesaje digital aplicados a la agricultura mediante tecnologías de celdas de carga acompañadas de microcontroladores de bajo coste. Jayaraman et al. [9] implementan una plataforma IoT para agricultura de precisión que incorpora sensores de peso para el seguimiento en tiempo real de las condiciones ambientales y gestionar inventarios. Narendra et al. [10] presentan una revisión de soluciones IoT para agricultura de precisión, destacando en ella el papel de los sensores de peso en sistemas de riego automatizado, gestión de fertilizantes y seguimiento de silos. En aplicaciones afines, Miller et al. [11] analizan la combinación entre IoT e inteligencia artificial en agricultura mediante el uso de redes de sensores inteligentes, incluyendo sensores de peso para el seguimiento de cultivos. Todo esto presenta evidencias científicas que avalan la viabilidad técnica de incluir sistemas automatizados de medición de procesos agrícolas.

El presente estudio propone un prototipo de balanza automática integrada a un sistema de desgrane de maíz fundamentado en el uso de nuevas tecnologías de la información y de hardware abierto. El sistema propuesto trata de eliminar las ineficiencias que implica el pesaje manual, así como reducir las pérdidas postcosecha por derrame de grano, además de permitir la generación de datos precisos de producción en tiempo real, aspirando con ello a contribuir a la modernización tecnológica del sector maicero ecuatoriano. La importancia de esta investigación radica en su potencial para la mejora de la competitividad de los pequeños y medianos productores mediante la adopción de tecnologías disponibles y escalables, y en la forma en que busca alinearse con los principios de agricultura de precisión y de la transformación digital del sector agropecuario.

1.1 Trabajos relacionados

La incorporación progresiva de nuevas tecnologías de información en sistemas agrícolas se ha incrementado en los últimos años, pero en el ámbito relacionado con el desarrollo de prototipos de balanzas automáticas para desgranadores de maíz, escasos estudios han tratado temas relacionados con el monitoreo del peso, la automatización agrícola, y las aplicaciones del IoT en el procesamiento de granos, por lo que esta subsección se refiere a una revisión de trabajos recientes que fundamentan la propuesta de estudio.

En el ámbito de sistemas de pesaje automatizados con IoT, Alcides et al. [12] desarrollaron un sistema de lisimetría basado en celdas de carga para medición precisa del uso de agua en cultivos. El sistema utiliza cuatro celdas de carga en configuración de balanza de plataforma, amplificadores HX711, microcontrolador ESP32 y transmisión de datos mediante protocolo MQTT a plataforma ThingSpeak. Los autores validaron el sistema alcanzando precisiones del 98.7% en mediciones de evapotranspiración [12]. Aunque este trabajo demuestra la viabilidad de sistemas de pesaje IoT en agricultura, se enfoca exclusivamente en la medición estática de peso de plantas en contenedores, sin abordar el pesaje dinámico durante procesos mecánicos. El presente prototipo se diferencia al implementar un sistema de pesaje automático para un proceso dinámico de desgrane de maíz, donde las vibraciones mecánicas y el movimiento continuo del material representan desafíos adicionales de medición. Por tanto, esta contribución mitiga la brecha entre sistemas de pesaje estático en agricultura y sistemas de pesaje integrados en maquinaria de procesamiento postcosecha en movimiento.

Desde la perspectiva del pesaje automático de animales, He et al. [13] propusieron un algoritmo de pesaje dinámico para vacas lecheras basado en características en el dominio del tiempo y compensación de errores. El sistema utiliza plataformas de pesaje arregladas con celdas de carga y emplea redes neuronales combinadas con transformada "wavelet" empírica para procesamiento de señales dinámicas, logrando errores absolutos medios de 2.1 kg para pesos de 500-700 kg [13]. Si bien

este trabajo aborda exitosamente el pesaje dinámico de objetos en movimiento, se limita al pesaje de animales caminando sobre plataformas sin carga mecánica adicional. En cuanto a la propuesta, el prototipo se diferencia al integrar el sistema de pesaje directamente en un desgranador operativo, donde además del movimiento del producto existe vibración mecánica constante del equipo, ruido de fondo por el proceso de desgrane y variaciones de carga discontinuas. Por lo que consideramos que nuestra contribución mitiga la brecha entre pesaje dinámico de objetos con movimiento controlado (animales) y pesaje durante procesos agroindustriales con múltiples fuentes de interferencia mecánica.

En el contexto de sistemas de pesaje con algoritmos de “machine learning”, Nunes et al. [14] desarrollaron una balanza automática para medición de producción de leche en tiempo real utilizando redes neuronales artificiales. El sistema emplea celdas de carga de alta frecuencia de muestreo (100 Hz) y algoritmos de aprendizaje profundo para filtrar perturbaciones causadas por movimientos del animal durante el ordeño, alcanzando precisiones del 95% en mediciones individuales [14]. Aunque este trabajo demuestra la efectividad de técnicas de “machine learning” para filtrado de señales ruidosas en pesaje, se concentra en aplicaciones de ordeño con flujos líquidos continuos. El presente prototipo se diferencia al trabajar con material granular discontinuo (granos de maíz) donde los patrones de caída y acumulación son aleatorios y la señal de peso presenta características estocásticas distintas a flujos continuos.

Respecto a sistemas de pesaje dinámico de alta precisión, Burnos et al. [15] investigaron sistemas “Weigh-In-Motion” para control automático de peso de vehículos en movimiento. Los autores desarrollaron métodos de calibración automática y compensación de factores ambientales (temperatura, humedad) utilizando sensores piezoeléctricos y celdas de carga capacitivas, logrando precisiones del 5% para pesaje de vehículos a velocidades de 80-100 km/h [15]. Si bien este trabajo aborda el pesaje dinámico de alta velocidad y complejidad, se enfoca en infraestructura vial permanente con objetos de gran masa (vehículos de 3-40 toneladas). El presente prototipo se diferencia al diseñar un sistema de pesaje para masas pequeñas (0-50 kg) integrado en equipo móvil agrícola, donde los requerimientos de portabilidad, bajo costo y calibración in situ son relevantes.

En términos de algoritmos para pesaje dinámico con compensación de perturbaciones, Cardenas-Gallegos et al. [16] desarrollaron un sistema de pesaje automático para ganado utilizando plataformas arregladas y procesamiento de características temporales. El sistema implementa extracción de ventanas de datos válidas mediante análisis de varianza, transformada wavelet para descomposición de señales y redes neuronales para predicción, logrando errores porcentuales absolutos medios inferiores al 2.5%. Aunque este trabajo presenta técnicas avanzadas de procesamiento de señales dinámicas, se aplica a objetos individuales de masa uniforme (animales) con tiempos de medición de 3-5 segundos. En nuestro caso, el prototipo se diferencia al requerir medición continua de flujo de material granular donde no existen objetos individuales discretos sino acumulación progresiva de granos, demandando algoritmos de integración temporal y detección de tasas de cambio en lugar de mediciones discretas.

Los trabajos revisados demuestran que existen tecnologías maduras en sistemas de pesaje automático aplicadas a diversos contextos como, pesaje estático con IoT, pesaje dinámico de animales, pesaje de fluidos durante ordeño, y sistemas de alta velocidad para vehículos. Sin embargo, la revisión de literatura evidencia una brecha crítica donde ninguno de los trabajos analizados implementa un sistema de pesaje automático específicamente diseñado para maquinaria de procesamiento agrícola donde coexisten múltiples desafíos simultáneos como vibración mecánica, flujo discontinuo de material granular, requerimientos de portabilidad, bajo costo y calibración in situ. Por tanto, el prototipo de balanza automática para desgranador mitiga directamente esta brecha al integrar celdas de carga calibradas, algoritmos de filtrado adaptativo, microcontrolador ESP32 con capacidades IoT, y protocolos de compensación de error específicamente diseñados para el entorno vibratorio y dinámico del proceso de desgrane.

II. MÉTODOS

El desarrollo del prototipo de balanza automática para desgranador de maíz se llevó a cabo mediante un enfoque de investigación mixto, combinando métodos documentales y aplicados dentro de un diseño no experimental. La metodología empleada se organizó en tres etapas:

- Recolección de datos y análisis de requisitos.
- Diseño y selección de componentes del sistema.
- Construcción e integración del prototipo.
- Instrumento y métricas de evaluación.

Por tanto, esta sección detalla los procedimientos, herramientas y técnicas utilizadas en cada fase del desarrollo, así como la argumentación de las decisiones técnicas adoptadas para lograr un sistema de pesaje automatizado funcional y eficiente.

2.1 Recolección de datos y análisis de requisitos

En esta subsección se describe el procedimiento empleado para la recolección de datos y el análisis de requisitos del sistema, el cual constituyó la base para el diseño del prototipo de balanza automática integrada al proceso de desgrane de maíz. Por tanto, el proceso en el cual se dio lugar el trabajo de investigación lo realizamos en una finca agropecuaria, productora de maíz, que se encontraba situada en la provincia de Los Ríos, Ecuador, considerando que esta es una de las principales zonas agrícolas del país, por su importante volumen de producción y en donde predominan los métodos asociados a una agricultura tradicional en sus etapas postcosecha. La recolección de información se hizo a través de una guía de observación y una guía de entrevista con la intención de dotar de manera comprensiva del flujo operativo real, y, por consiguiente, se podían ubicar los cuellos de botella que evidenciaban la necesidad de insertar tecnologías de la información para optimizar los procedimientos existentes. La observación se llevó a cabo durante el proceso tradicional de desgrane y pesado manual del maíz, lo que permitió documentar las actividades que llevaban a cabo los jornaleros, los tiempos de operación, las condiciones físicas en las que se encuentra el ambiente de trabajo y las pérdidas de grano con el uso del método de trabajo tradicional.

En particular, la guía de observación se orientó a registrar aspectos relacionados con la manipulación manual de los sacos, la separación física entre la máquina desgranadora y la balanza convencional, la necesidad de superficies planas para lograr mediciones aceptables y la merma de grano que se produce durante el traslado de los sacos llenos. Estas situaciones se evidencian en el proceso ilustrado en la Figura 1, donde se observa que el pesaje se realiza de forma independiente al desgrane, obligando a los trabajadores a interrumpir el flujo continuo de producción y generando pérdidas inevitables de maíz que caen al suelo durante el cambio de sacos



Figura 1. Proceso de desgrane y pesado manual de maíz

Por su parte, la guía de entrevista estuvo dirigida a la administradora de la finca y a los operarios responsables del proceso, con la finalidad de identificar los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema propuesto. A través de esta técnica se recogió información relacionada con la necesidad de controlar el peso exacto por quintal (50 kg), reducir el esfuerzo físico de los trabajadores, minimizar la pérdida de grano, disponer de alertas oportunas durante el llenado de sacos y contar con un mecanismo de registro y monitoreo diario de la producción. Asimismo, se identificó el interés por integrar una solución tecnológica que permita visualizar los datos de pesaje en tiempo real y almacenarlos para su posterior análisis. Como se resume en la Tabla 1, los requisitos definidos responden directamente a las limitaciones operativas observadas en campo, tales como la falta de integración entre el pesaje y el desgrane, la pérdida de grano durante el cambio de sacos y la ausencia de mecanismos de monitoreo y registro de la producción. Por tanto, lo que busca este enfoque es asegurar que el diseño del prototipo de balanza automática estuviera alineado con las condiciones reales del entorno agrícola, garantizando su pertinencia técnica, operativa y económica.

Tabla 1. Análisis de requisitos

Código	Requisito	Descripción	Origen del requisito	Justificación
RQ-01	Funcional	El sistema debe medir automáticamente el peso del maíz durante el proceso de desgrane.	Observación directa del proceso manual	El pesaje manual se realiza de forma independiente al desgrane, generando interrupciones y pérdida de grano.
RQ-02	Funcional	El sistema debe detener o regular el flujo de maíz cuando se alcance el peso objetivo por saco (50 kg).	Entrevista a la administradora de la finca	Garantiza uniformidad en los quintales y evita sobrellenado o subllenado de los sacos.
RQ-03	Funcional	El sistema debe generar una alerta visual y sonora al alcanzar el peso establecido.	Observación y entrevista	Permite al operario actuar oportunamente sin supervisión constante del pesaje.
RQ-04	Funcional	El sistema debe permitir el vaciado automático del maíz hacia el saco correspondiente.	Observación del proceso de cambio manual de sacos	Reduce la pérdida de grano que ocurre durante el traslado y reemplazo manual de sacos.
RQ-05	Funcional	El sistema debe mostrar el peso en tiempo real mediante una interfaz visual accesible.	Observación del entorno de trabajo	Facilita el control del proceso por parte de los trabajadores en condiciones rurales.
RQ-06	Funcional	El sistema debe registrar el número de sacos y el peso total diario de la producción.	Entrevista con la administradora	Permite llevar un control productivo y facilita la toma de decisiones comerciales.
RQ-07	Funcional	El sistema debe integrarse con una aplicación móvil para la visualización del historial de pesaje.	Entrevista y análisis de necesidades	Mejora la trazabilidad de la producción y el monitoreo remoto del proceso.
RQ-08	No funcional	El sistema debe operar de forma estable en entornos rurales con superficies irregulares.	Observación del entorno físico	Las balanzas tradicionales requieren superficies planas, lo cual no es viable en campo.
RQ-09	No funcional	El sistema debe ser de fácil uso para operarios con bajo nivel de capacitación tecnológica.	Entrevista a los trabajadores	Asegura la adopción del sistema sin necesidad de capacitación compleja.
RQ-10	No funcional	El sistema debe utilizar componentes de bajo costo y fácil mantenimiento.	Análisis del contexto productivo	Favorece la sostenibilidad económica del prototipo para pequeños y medianos productores.
RQ-11	No funcional	El sistema debe garantizar precisión y confiabilidad en las mediciones de peso.	Observación y revisión documental	La exactitud del pesaje es crítica para la comercialización del maíz.
RQ-12	No funcional	El sistema debe permitir escalabilidad y futuras ampliaciones funcionales.	Análisis técnico del proyecto	Facilita la incorporación de nuevas funcionalidades sin rediseñar el sistema completo.

2.2 Diseño y componentes del sistema

El diseño del sistema se fundamentó en los requisitos funcionales y no funcionales identificados durante el análisis del proceso de desgrane y pesado manual. A partir de estos requerimientos, se definió una arquitectura distribuida que integra componentes de hardware, conectividad a Internet y una aplicación móvil para el monitoreo y gestión de la información de pesaje. Esta arquitectura general se ilustra en la Figura 2, donde se evidencia la interacción entre los módulos físicos del prototipo, la infraestructura de red y los usuarios finales mediante una base de datos centralizada.

Como se observa en la Figura 2. Arquitectura del prototipo de balanza digital, el sistema está compuesto por dos microcontroladores NodeMCU ESP8266 que operan de manera coordinada. El primer microcontrolador se encarga de la adquisición de datos provenientes del sensor de peso, mientras que el segundo gestiona los actuadores y dispositivos de salida, tales como el servomotor, la pantalla LCD y el buzzer. Ambos módulos se comunican a través de Internet con una base de datos remota, permitiendo el almacenamiento y la posterior visualización de la información mediante una aplicación móvil accesible para los usuarios autorizados.

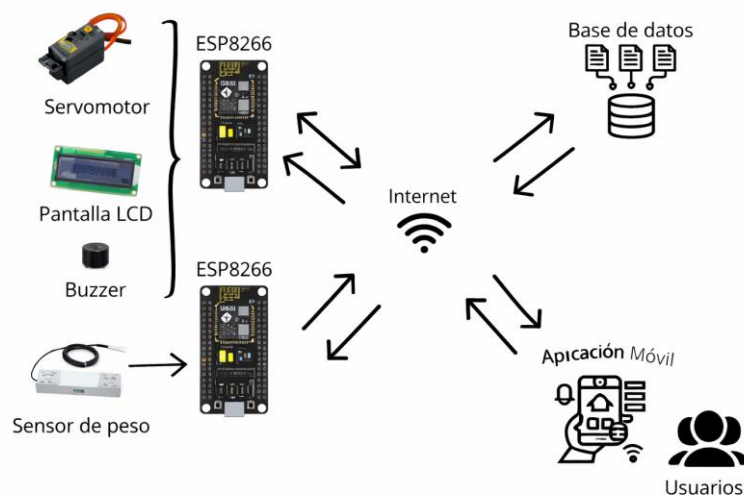


Figura 2. Arquitectura del prototipo de balanza digital

Este enfoque modular favorece la escalabilidad del sistema y permite separar las tareas críticas de medición y control, reduciendo la carga de procesamiento en un solo dispositivo y mejorando la estabilidad operativa del prototipo. Además, la integración con tecnologías de la información facilita la trazabilidad de la producción, uno de los requisitos identificados en la etapa de recolección de datos. Con base en la arquitectura definida, se seleccionaron los componentes electrónicos considerando criterios de precisión, costo, disponibilidad y facilidad de integración. En la Tabla 2 se presentan las especificaciones técnicas del microcontrolador principal utilizado en el prototipo.

Tabla 2. Especificaciones del microcontrolador NodeMCU ESP8266

Característica	Descripción
Microcontrolador	ESP8266
Voltaje de operación	3.3 V
Conectividad	WiFi integrado (IEEE 802.11 b/g/n)
Memoria Flash	4 MB
GPIO	Pines multifuncionales (entrada/salida digital)
Lenguaje de programación	C/C++ (Arduino IDE)
Función en el sistema	Control de sensores, actuadores y comunicación con la aplicación móvil

El sistema de medición de peso se basa en una celda de carga de 55 kg acoplada a un módulo amplificador HX711, encargado de convertir las señales analógicas generadas por la deformación mecánica en datos digitales procesables por el microcontrolador. Las especificaciones de este subsistema se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones del sistema de medición de peso

Componente	Especificación	Función
Celda de carga	Capacidad máxima: 55 kg	Medición del peso del maíz
Módulo HX711	ADC de 24 bits	Amplificación y digitalización de la señal
Precisión	Alta resolución	Garantiza mediciones confiables
Interfaz	Comunicación digital	Enlace con el ESP8266

En cuanto a los dispositivos de salida y control, el prototipo incorpora un servomotor para el accionamiento de la compuerta de vaciado, un buzzer para alertas sonoras y una pantalla LCD para la visualización del peso en tiempo real. Estos componentes permiten automatizar el proceso y reducir la intervención manual del operario. Sus principales características se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones de actuadores y dispositivos de salida

Componente	Característica	Función en el sistema
Servomotor	Capacidad de carga: 5 kg	Apertura y cierre de la compuerta de vaciado
Buzzer	Voltaje: 12 V	Alerta sonora al alcanzar el peso objetivo
Pantalla LCD	LCD 16x2	Visualización del peso en tiempo real
Fuente de alimentación	Batería 9 V	Suministro energético del sistema

La interconexión física de los componentes electrónicos se diseñó para garantizar estabilidad eléctrica y correcta transmisión de datos entre sensores, actuadores y microcontroladores. El detalle de estas conexiones se presenta en la Figura 3. Esquema de conexiones del prototipo, donde se observa la disposición del sensor de peso con el módulo HX711, la conexión del ESP8266 con la pantalla LCD, el buzzer y el servomotor, así como la alimentación del sistema mediante una fuente externa. Este esquema permitió validar previamente la compatibilidad entre los componentes y facilitó el proceso de ensamblaje del prototipo, reduciendo errores durante la implementación.

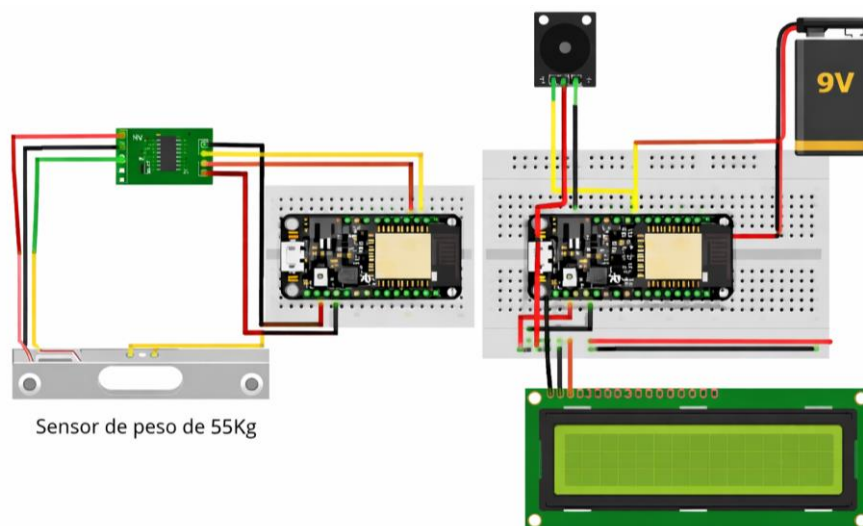


Figura 3. Esquema de conexiones del prototipo

2.3 Construcción e integración del prototipo

La construcción del prototipo de balanza automatizada se desarrolló a partir del diseño conceptual y la arquitectura del sistema previamente definidos, considerando tanto los requisitos funcionales como las condiciones reales del entorno agrícola. Esta etapa tuvo como objetivo materializar el diseño del sistema en una estructura física operativa, integrando los componentes mecánicos, electrónicos y de comunicación de manera coherente y funcional. En una primera fase se elaboró el modelo tridimensional del prototipo, el cual permitió validar la disposición espacial de los componentes, las dimensiones estructurales y la interacción entre los distintos módulos antes de su fabricación física. Este diseño preliminar se presenta en la Figura 4, donde se aprecia la ubicación del sistema de alimentación de maíz, la plataforma de pesaje, el módulo de control y el mecanismo de vaciado.

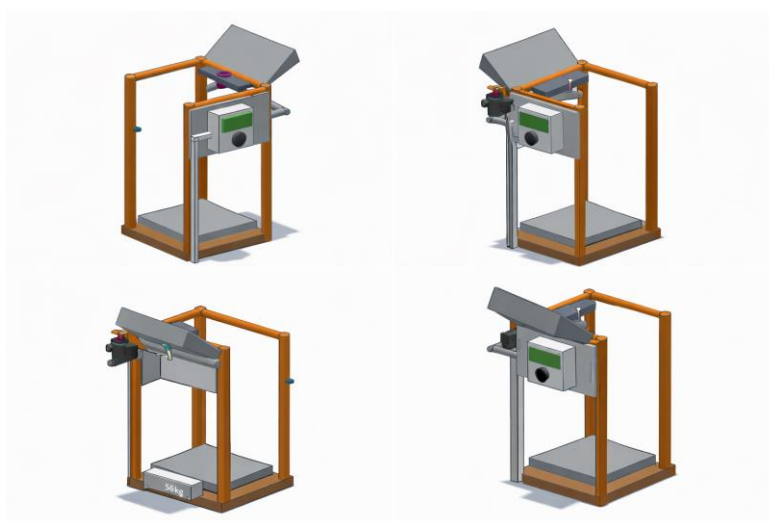


Figura 4. Prototipo de balanza automatizada en 3D

Posteriormente, se procedió a la construcción física del prototipo, empleando materiales metálicos para la estructura portante, seleccionados por su resistencia mecánica y durabilidad en entornos productivos, así como se expone en la Figura 5. La plataforma de pesaje fue diseñada para soportar cargas de hasta 55 kg, asegurando estabilidad durante el llenado de los sacos. En esta etapa se integraron los componentes electrónicos previamente seleccionados, incluyendo el microcontrolador ESP8266, el sensor de peso con su módulo HX711, la pantalla LCD, el buzzer y el servomotor encargado del accionamiento de la compuerta de vaciado.



Figura 5. Prototipo de balanza industrial

La integración final del sistema dio lugar a un prototipo de carácter industrial, orientado a su uso en condiciones reales de trabajo, como se observa en la Figura 6. En esta versión, los componentes electrónicos fueron alojados en un gabinete protector, reduciendo la exposición al polvo, vibraciones y humedad, factores comunes en el entorno agrícola. Asimismo, se mejoró la disposición del cableado y las conexiones internas para mejorar la seguridad eléctrica y facilitar futuras tareas de mantenimiento.



Figura 6. Prototipo de balanza industrial en un escenario real

Desde el punto de vista funcional, la integración del hardware con el software permitió que el sistema opere de manera sincronizada. El sensor de peso transmite los datos al microcontrolador, el cual procesa la información y ejecuta las acciones correspondientes, tales como la activación del servomotor al alcanzar el peso establecido, la emisión de alertas sonoras mediante el buzzer y la visualización del peso en tiempo real en la pantalla LCD. De forma paralela, los datos generados son enviados a la base de datos y puestos a disposición de los usuarios a través de la aplicación móvil, consolidando un flujo de información continuo entre el entorno físico y digital.

2.4 Instrumento y métricas de evaluación

Con el objetivo de evaluar el desempeño del prototipo de balanza automática integrada al proceso de desgrane de maíz, se diseñó un instrumento de evaluación de tipo dicotómico (Sí/No), orientado a recoger el juicio experto desde una perspectiva técnica, operativa y tecnológica. El instrumento fue administrado a 25 especialistas pertenecientes al ámbito agroindustrial y de sistemas de información, escogidos por su conocimiento y experiencia en procesos de producción, automatización, y en el uso de sistemas tecnológicos en situaciones de la vida real. La forma del cuestionario fue estructurada haciendo uso de cuatro indicadores que fueron definidos de acuerdo a las exigencias de los requisitos del sistema y el propio enfoque metodológico del estudio, es decir, un hilo de evaluación que comenzaba en la forma de la precisión métrica del prototipo que se incorporó en la tecnología, en forma de su impacto, y que acabó en la viabilidad y escalabilidad de la misma en condiciones productivas reales. Los indicadores de evaluación estaban constituidos por tres elementos, de manera que se contaba con un total de 12 preguntas, lo que permitió contar con una evaluación de la forma del prototipo equilibrada y sistemática.

En la Tabla 5 se presenta la relación de indicadores, códigos de ítems y formulación de las preguntas utilizadas en el instrumento, las cuales fueron diseñadas para ser claras, específicas y comprensibles para los evaluadores, evitando ambigüedades y facilitando respuestas consistentes.

Tabla 5. Instrumento dicotómico para la evaluación del prototipo de balanza automática

Indicador	Código	Ítem
Precisión y confiabilidad	P1	¿El prototipo presenta mediciones consistentes en distintos ciclos de pesaje?
	P2	¿La balanza automática reduce el error humano durante el proceso de desgranado?
	P3	¿La integración de sensores garantiza estabilidad en la medición del peso?
Integración tecnológica	P4	¿El uso de tecnologías de la información mejora la trazabilidad del proceso?
	P5	¿El sistema permite una adecuada comunicación entre hardware y software?
	P6	¿La automatización propuesta es coherente con entornos agroindustriales reales?
Eficiencia operativa	P7	¿El prototipo optimiza el tiempo del proceso de desgranado de maíz?
	P8	¿La balanza automática contribuye a reducir costos operativos?
	P9	¿El sistema mejora la productividad frente a métodos tradicionales?
Viabilidad y escalabilidad	P10	¿El prototipo es técnicamente viable para su implementación a mayor escala?
	P11	¿El sistema puede adaptarse a distintos volúmenes de producción?
	P12	¿La solución propuesta es sostenible en el contexto agrícola actual?

Dado el carácter dicotómico del instrumento, la métrica principal utilizada para el análisis fue la frecuencia y proporción de respuestas afirmativas (Sí) por ítem e indicador, permitiendo identificar el nivel de aceptación del prototipo desde la perspectiva experta. Esta aproximación facilitó la agregación de resultados por dimensión de evaluación y la comparación entre indicadores, manteniendo una interpretación clara y directa de los datos. Asimismo, para verificar la consistencia interna del instrumento, se estimó el alfa de Cronbach sobre los 12 ítems dicotómicos. El valor obtenido fue $\alpha = 0.759$, superando el umbral recomendado de 0.70 para estudios aplicados, lo que evidencia una adecuada coherencia interna entre los ítems y confirma la fiabilidad del instrumento para evaluar el prototipo de balanza automática.

III. RESULTADOS

La presente sección expone los resultados derivados de la evaluación del prototipo de balanza automática integrada a un desgranador de maíz, a partir del instrumento dicotómico aplicado a 25 especialistas del ámbito agroindustrial y de tecnologías de la información. Los resultados se presentan de forma agregada por indicador con la finalidad de conocer el impacto del prototipo y los puntos de mejora futura.

3.1 Análisis descriptivo por indicador

Los resultados agregados por indicador se presentan en la Tabla 6. Cada indicador fue evaluado mediante tres ítems dicotómicos, resultando en un total de 75 respuestas por indicador (25 expertos \times 3 ítems). El porcentaje de aceptación (respuestas 'Sí') revela una tendencia creciente desde los indicadores técnico-metrológicos hacia aquellos relacionados con la viabilidad de implementación.

Tabla 6. Distribución de respuestas y porcentaje de aceptación por indicador

Indicador	Sí (n)	No (n)	Aceptación Sí (%)
Precisión y Confiabilidad	39	36	52.0
Integración Tecnológica	42	33	56.0
Eficiencia Operativa	45	30	60.0
Viabilidad y Escalabilidad	49	26	65.33

Nota. n = número de respuestas por categoría; N = 75 respuestas por indicador (25 expertos \times 3 ítems).

Como se observa en la Tabla 6 y se visualiza en la Figura 7, el indicador de Viabilidad y Escalabilidad obtuvo el mayor nivel de aceptación (65.33%), seguido por Eficiencia Operativa (60.0%), Integración Tecnológica (56.0%) y Precisión y Confiabilidad (52.0%). Esta distribución evidencia que, si bien los expertos reconocen el potencial del prototipo para su implementación a escala y su contribución a la eficiencia del proceso, expresan reservas moderadas respecto a aspectos técnicos relacionados con la precisión metrológica y la integración hardware-software.

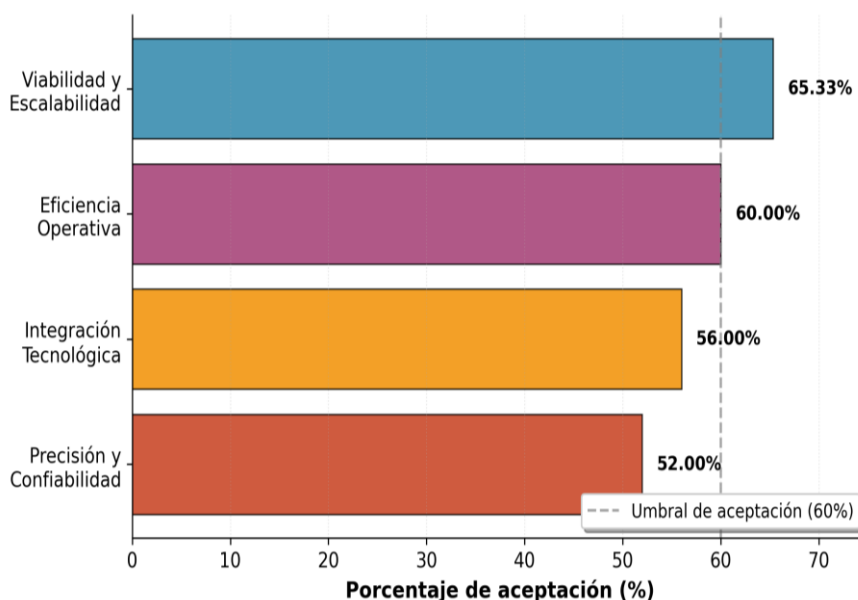


Figura 7. Aceptación de expertos por indicador

Por otro lado, la Figura 7 presenta la distribución porcentual de aceptación por indicador, evidenciando la tendencia creciente desde los aspectos técnicos hacia los de implementación. La línea punteada representa el umbral de aceptación del 60%, valor de referencia establecido en estudios de validación de tecnologías emergentes. Dos de los cuatro indicadores se alinean a este umbral, mientras que los dos restantes se aproximan a él, indicando un balance general positivo, pero con áreas de mejora identificables. Asimismo, la Figura 8 ilustra la distribución absoluta de respuestas afirmativas y negativas para cada indicador. La proporción equilibrada entre ambas categorías en los primeros tres indicadores (con diferencias no superiores a 15 respuestas) evidencia una evaluación crítica por parte de los expertos, lo cual es deseable en procesos de validación técnica para evitar sesgos de aquiescencia. El indicador de Viabilidad y Escalabilidad muestra la mayor diferencia a favor de las respuestas afirmativas (49 vs. 26), exponiendo un consenso más amplio respecto a la factibilidad de implementación del sistema en contextos reales.

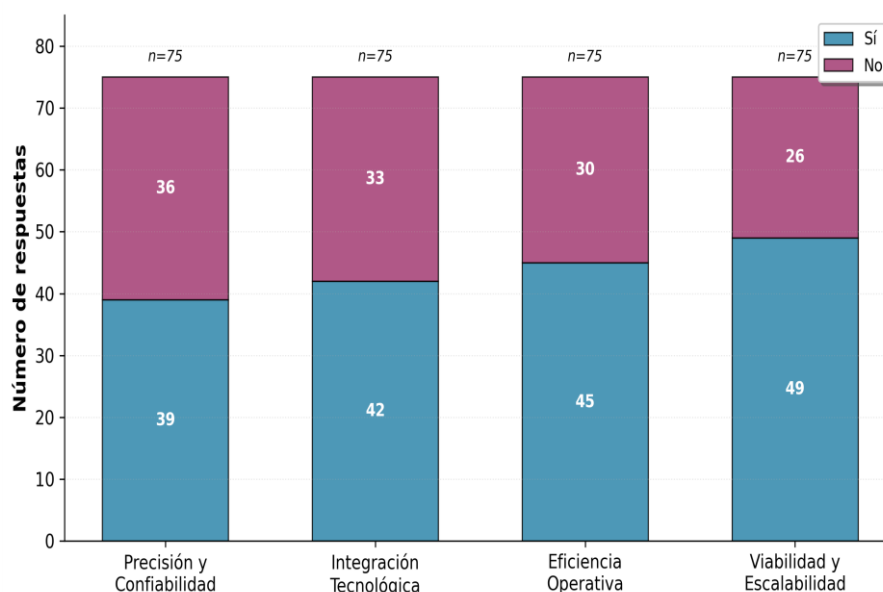


Figura 8. Distribución de respuestas por indicador

3.2 Análisis multidimensional del prototipo

Para complementar el análisis descriptivo, se realizó una visualización radial (Figura 3) que permite apreciar el perfil de aceptación del prototipo en las cuatro dimensiones evaluadas simultáneamente. Este tipo de representación facilita la identificación visual de fortalezas y debilidades del sistema en un formato integrado.

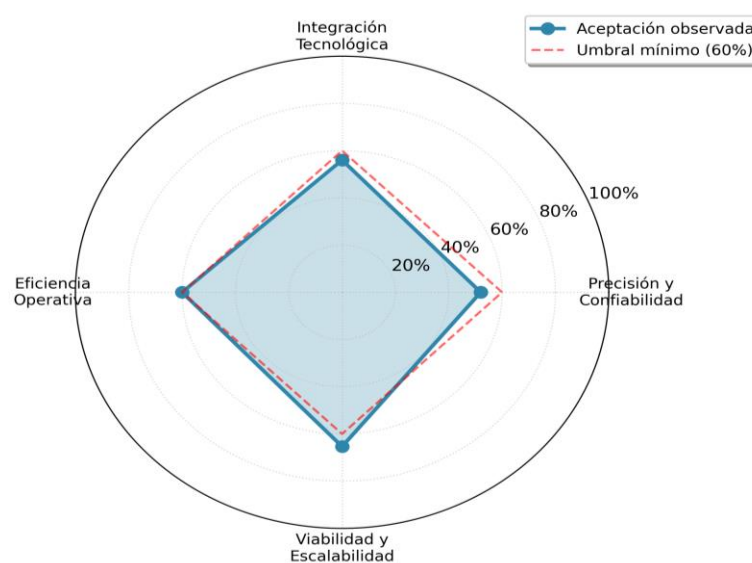


Figura 9. Perfil de aceptación del prototipo

De igual manera la Figura 9 evidencia que el perfil de aceptación del prototipo presenta una forma asimétrica, con mayor proyección hacia los ejes de Viabilidad/Escalabilidad y Eficiencia Operativa, y menor extensión hacia Precisión/Confiabilidad e Integración Tecnológica. El área cubierta por el polígono sugiere un nivel general de aceptación moderado-alto, con dos dimensiones por encima y dos por debajo del umbral del 60%. Esta configuración indica que el prototipo es percibido como viable y eficiente en términos operativos, pero requiere refinamiento en aspectos técnicos fundamentales antes de su despliegue a gran escala.

3.3 Análisis granular por ítem del cuestionario

El análisis a nivel de ítem individual (Figura 4) permite identificar aspectos específicos del prototipo que generaron mayor o menor consenso entre los expertos. Los 12 ítems se agrupan cromáticamente según el indicador al que pertenecen, facilitando la identificación de patrones dentro de cada dimensión evaluada.

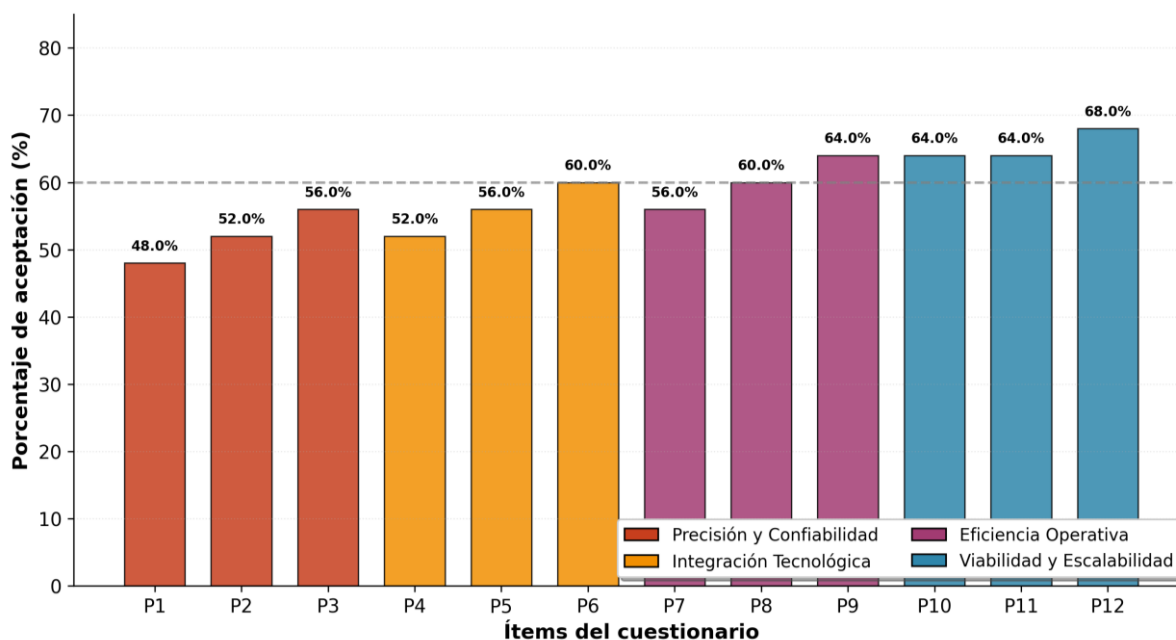


Figura 10. Resultados del cuestionario por pregunta

El análisis por ítem revela una tendencia creciente en la aceptación desde P1 (48.0%) hasta P12 (68.0%), con incrementos progresivos entre grupos de ítems. Dentro del indicador de Precisión y Confiabilidad, el ítem P3 (relativo a la estabilidad de los sensores) obtuvo mayor aceptación (56.0%) comparado con P1 (consistencia de mediciones, 48.0%) y P2 (reducción de error humano, 52.0%), sugiriendo que los expertos confían en la tecnología de sensores empleada pero cuestionan la repetibilidad del sistema completo. En Integración Tecnológica, P6 (coherencia con entornos agroindustriales, 60.0%) superó a P4 (trazabilidad, 52.0%) y P5 (comunicación hardware-software, 56.0%), indicando que el diseño conceptual es apropiado pero requiere optimización en la implementación técnica. Los ítems de Eficiencia Operativa (P7-P9) muestran valores consistentes (56%-64%), mientras que los de Viabilidad y Escalabilidad (P10-P12) alcanzan los niveles más altos (64%-68%), confirmando la percepción favorable sobre el potencial de adopción del sistema.

3.4 Perspectiva de los resultados

El indicador de precisión y confiabilidad da el valor más bajo de aceptación (52.0%) y resulta ser inferior a lo que cabría esperar (60% como umbral deseable). Este indicador pone de manifiesto que los expertos perciben en el instrumento elevadas oportunidades de mejora. En particular, los datos reportan preocupaciones sobre la consistencia de los ciclos de pesaje con sensores repetidos y sobre la funcionalidad de los sistemas para controlar la posibilidad de error humano. Por otro lado, la aceptación de los sensores (P3) significa que su tecnología se puede considerar adecuada, pero que las limitaciones se pueden atribuir a componentes integrados y las calibraciones, y no necesariamente al hardware. Por lo tanto, esta interpretación es consistente con lo que se desprende de la literatura relacionada con sistemas de pesaje automatizados, donde la variabilidad suele encontrarse en la interfaz de componentes más que en el sensor.

Por otro lado, se evidencia un 56.0% de aceptación del indicador integración tecnológica refleja una aceptación media sobre la capacidad del sistema de desgranado para incorporar de manera efectiva y eficiente tecnologías de la información. Los expertos, por un lado, ven coherente el diseño con entornos agroindustriales reales (P6, 60.0%), aspecto que da validez al diseño propuesto, pero expresan reservas sobre la trazabilidad del proceso (P4, 52.0%) y la comunicación entre hardware y software (P5, 56.0%). Estos resultados son la respuesta a una arquitectura conceptual apropiada y una ejecución práctica que requiere, en cierta medida, la mejora de protocolos de comunicación, interfaces de usuario y sistemas de registro de datos. Esta distancia entre el reconocimiento del diseño y las dudas sobre la ejecución técnica del mismo es lógica en prototipos en fase de validación inicial, donde el nivel de madurez tecnológica se ve superado por la demostración de concepto.

De igual manera, el indicador eficiencia operativa presenta los niveles de aceptación fijados (60.0%), siendo visto por los expertos como una característica positiva del prototipo. Los ítems relacionados con "optimización del tiempo de proceso" (P7), "reducción de costes operativos" (P8) o "mejora de la productividad" (P9) se desarrollaron todos en una propuesta de valor alta, tal y como lo perciben estos expertos, lo cual puede ser complementado analizando que el sistema es un método muy efectivo para aumentar la eficiencia de las operaciones de desgranado de maíz. Por tanto, la percepción está basada en los beneficios de la automatización, es decir, de la reducción de tiempos muertos, de la eliminación del trabajo manual y de la homogeneidad en las operaciones, los cuales están muy documentados en la automatización de operaciones agroindustriales. La aceptación en eficiencia operativa es importante, ya que es un criterio muy determinante para utilizar cualquier tipo de tecnología en el ámbito agrícola, donde los márgenes de ganancia son muy estrechos y donde la productividad rápida es imprescindible para mantener la economía.

Por último, el indicador correspondiente a la viabilidad y escalabilidad se obtiene una gran aceptación (65.33%), lo que indica una percepción favorable respecto a la viabilidad y la posibilidad de implementación a mayor escala, mezclando distintos contextos de producción. Los expertos consideran que la solución propuesta es factible técnica (P10), modificable respecto a distintos volúmenes de producción (P11) y que se sostiene en el contexto agrícola actual (P12). Este resultado positivo cobra una especial relevancia, ya que contrasta los aspectos positivos de la evaluación con las reservas técnicas mostradas en los indicadores previos, así como las evidencias proporcionadas de que los evaluadores del prototipo reconocen la conveniencia de la tecnología para ser mejorada y puesta en práctica en entornos reales. La combinación de la viabilidad técnica percibida y la escalabilidad potencial indica que el prototipo se encuentra en una situación favorable y propicia el camino hacia el avance a fases de desarrollo más maduras, siempre y cuando se tomen las limitaciones apuntadas en aspectos de precisión e integración. Lo anteriormente dicho ofrece coherencia con modelos de adopción tecnológica que ponen de manifiesto la percepción de utilidad, así como la facilidad de uso, como elementos determinantes de la intención de adopción.

IV. DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó un prototipo de balanza automática integrada a un desgranador de maíz mediante validación experta, obteniendo hallazgos que se sitúan en el contexto de desarrollos recientes en automatización agrícola y tecnologías de pesaje de precisión. Esta sección contrasta los resultados obtenidos con la literatura científica de los últimos cinco años, articulando conexiones con investigaciones sobre integración de sensores IoT, sistemas de pesaje automatizado, adopción tecnológica en agricultura y desafíos de implementación en contextos agroindustriales.

4.1 Integración de sensores inteligentes y arquitecturas IoT en agricultura de precisión

Los resultados del indicador de integración tecnológica (56.0% de aceptación) coinciden con los retos detectados en la literatura actual sobre la implantación de sistemas IoT en la agricultura. Mansoor et al. [17] argumentan que la integración pertinente de los sensores inteligentes no depende solamente del hardware correcto, sino también de arquitecturas de comunicaciones correctas, bien como plataformas de análisis de datos que materialicen la toma de decisiones en tiempo real. En su revisión sistemática acerca de los sensores IoT en la agricultura de precisión, estos autores constatan que las barreras críticas a la adopción exitosa son la interoperabilidad entre componentes, la latencia en la transmisión de datos y la calibración. El prototipo que se evalúa en la presente investigación enfrentaba precisamente estas barreras, como evidencian las puntuaciones moderadas correspondientes al ítem P5 (comunicación hardware-software, 56.0%), exponen que, si bien la arquitectura conceptual es correcta, la implementación concreta requiere perfeccionarse.

Miller et al. [11] realizaron una revisión sistemática siguiendo metodología PRISMA sobre la integración de IoT e inteligencia artificial en agricultura, analizando 3,404 publicaciones del período 2020-2024. Sus hallazgos revelan que los sistemas de monitoreo basados en sensores demuestran precisiones de 90-99% en aplicaciones específicas como detección de enfermedades de cultivos mediante redes neuronales convolucionales, pero que la integración sistémica completa presenta desafíos significativos relacionados con fragmentación de datos, brechas de conectividad en áreas rurales y costos elevados de adopción. El presente estudio corrobora estos hallazgos al mostrar que, aunque los expertos reconocen la coherencia del diseño con entornos agroindustriales reales (P6, 60.0%), expresan reservas sobre la trazabilidad del proceso (P4, 52.0%), lo cual sugiere que el prototipo necesita optimización en sus capacidades de registro y transmisión de datos para maximizar su valor en contextos de agricultura de precisión.

De igual manera, Aarif et al. [18] documenta que los sistemas de precisión habilitados por IoT pueden lograr ahorros mediante monitoreo continuo. Este tipo de optimización basada en datos representa el potencial que el prototipo de balanza automática podría alcanzar en el contexto de procesamiento postcosecha de maíz. La capacidad de generar datos precisos y trazables sobre volúmenes procesados no solo mejoraría la eficiencia operativa, sino que también permitiría análisis predictivos para optimización de recursos, similar a lo reportado en sistemas IoT agrícolas avanzados. La valoración moderada obtenida en el indicador de integración tecnológica (56.0%) evidencia que el prototipo se encuentra en una fase intermedia de desarrollo donde la infraestructura básica existe, pero requiere maduración para aprovechar plenamente las capacidades de análisis de datos que caracterizan a las soluciones IoT contemporáneas.

4.2 Precisión metrológica en sistemas de pesaje automatizado agrícola

La baja calificación en el indicador de precisión y confiabilidad (52.0%) evidencia una debilidad significativa en el diseño evaluado, particularmente en contextos de pesaje dinámico, donde las condiciones de operación presentan alta variabilidad. Diversas investigaciones recientes señalan que incluso los sistemas modernos basados en sensores avanzados enfrentan dificultades para garantizar repetibilidad en entornos agrícolas reales. Por ejemplo, Burdilna et al. [19] desarrollaron un sistema automatizado basado en lógica difusa para lanzadores de granos y concluyeron que la precisión sigue comprometida en condiciones de operación dinámica, lo cual es atribuible a vibraciones mecánicas, flujos irregulares de material y variaciones ambientales. Este fenómeno se refleja en la baja valoración del ítem P1 (consistencia de mediciones), lo cual pone de relieve que el sistema, aunque funcional, requiere optimizaciones fundamentales en su integración sensorica y estructural.

En contraste, el resultado más favorable en el ítem P3 (estabilidad de sensores, 56.0%) sugiere que el hardware subyacente tiene un desempeño razonablemente estable, pero carece de mecanismos que garanticen repetibilidad en escenarios de campo. He et al. [20] estudiaron un sistema de monitoreo de rendimiento en cosechadoras, subrayando la importancia de implementar algoritmos de corrección en tiempo real y estrategias de calibración automatizada para mejorar la precisión en procesos de pesaje agrícola. Adicionalmente, Rodrigues et al. [21] encontraron que factores como la humedad, el tamaño de los granos y el entorno operativo influyen considerablemente en la precisión de sistemas dinámicos. Esto refuerza la necesidad de emplear procesamiento de señales más robusto, como filtros digitales adaptativos, para compensar perturbaciones propias del proceso de desgranado de maíz.

Desde una perspectiva de ingeniería aplicada, el desarrollo de sistemas de pesaje confiables no puede basarse únicamente en los sensores. Debe existir, una arquitectura total donde se implementen procesamiento inteligente, mecánica optimizada, así como el control metrológico continuo. En esta línea, se sitúa la propuesta de Latif et al. [22], una arquitectura IoT para el monitoreo en tiempo real de peso, temperatura y consumo en el secado y proceso de granos, con mejoras en la trazabilidad y exactitud del sistema. Por lo tanto, las siguientes iteraciones del prototipo deberían implementar técnicas como promedios móviles, promedios móviles ponderados, algoritmos de autoajuste y machine learning ligero adaptativos a las condiciones del entorno, logrando así el umbral del 99% de endurecimiento requerido para aplicaciones comerciales.

4.3 Impacto en eficiencia operativa y reducción de pérdidas postcosecha

En cuanto a la eficiencia operativa, el indicador alcanzó el umbral mínimo del 60.0% establecido como umbral de aceptación, por lo que también representa una oportunidad de mejora dentro del prototipo desarrollado. Este resultado coincide con estudios recientes en automatización sobre el procesamiento postcosecha. Sarker et al. [23] realizaron un análisis bibliométrico de 3,404 publicaciones sobre la automatización de la agricultura apoyada en IA e IoT, hallando que los sistemas automatizados pueden reducir la mano de obra hasta en un 25% y la calidad del producto permanecía constante o mejoraba. De hecho, la revisión de estos autores afirma que las máquinas autónomas destinadas a la agricultura, que incorporar sensores en tiempo real y sistemas de control provenientes de IA, consiguen óptimas operaciones desde la preparación del campo hasta la cosecha y el procesamiento de alimentos, reduciendo el tiempo ocioso y estandarizando procesos.

Chen [24] señala que las tecnologías agrícolas actuales son importantes para hacer frente a los retos relacionados con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad medioambiental, en un contexto de aumento demográfico y cambio climático. En su revisión del papel de las tecnologías modernas para incrementar la productividad agrícola, el autor indica que la automatización, no solo incrementa la eficiencia, sino que también permite el uso más racional de los recursos de la agricultura a través del seguimiento y el control del proceso productivo en términos de tiempo y cantidad de recursos. En el caso del prototipo que se ha evaluado, la automatización del pesaje elimina los errores asociados al sistema de registro manual, mejora los tiempos de registro de datos y permite la generación de los reportes de producción de manera automática. Lo anterior es una serie de ventajas en términos de operaciones que han podido ser confirmadas por los expertos que participaron en el proceso, que ha posicionado al prototipo como una solución con un alto potencial para aumentar la competitividad de las operaciones de procesamiento del maíz, sobre todo en contextos en donde la eficiencia y la trazabilidad son características que hacen diferenciar el producto en el mercado.

4.4 Factores determinantes de adopción tecnológica en agricultura

El indicador de viabilidad y escalabilidad obtuvo la mayor aceptación del estudio (65.33%), reflejando una percepción favorable sobre el potencial de implementación del prototipo. Este resultado se alinea con teorías consolidadas de adopción tecnológica en agricultura. Los autores aplicaron el modelo de aceptación de tecnología extendido para analizar la intención conductual de agricultores hacia la Agricultura 5.0 en Nepal, encontrando que la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida son determinantes críticos de la intención de adopción. El modelo de aceptación de tecnología, validado extensamente en contextos agrícolas durante las últimas dos décadas, postula que la percepción de que una tecnología es útil (mejorará el desempeño) y fácil de usar (requiere mínimo esfuerzo) predice significativamente la intención de adoptarla.

El indicador de viabilidad y escalabilidad obtuvo la mayor aceptación del estudio (65.33%), reflejando una percepción favorable sobre el potencial de implementación del prototipo. Este resultado concuerda con estudios recientes que muestran que la percepción de utilidad y la percepción de facilidad de uso son determinantes clave de la intención conductual hacia la adopción de tecnologías agrícolas. Por ejemplo, una investigación reciente en contextos agrícolas han encontrado que variables equivalentes a la utilidad percibida y facilidad de uso ejercen una influencia significativa sobre la intención de adoptar tecnologías agrícolas, especialmente en la adopción de nuevas tecnologías agrícolas en China [25]. Asimismo, el modelo de aceptación de tecnología —y sus extensiones— han corroborado que los constructos de utilidad percibida y facilidad de uso ejercen efectos directos o indirectos sobre la actitud hacia el uso y la intención de uso de sistemas tecnológicos aplicados a la agricultura digital y de precisión [26].

Lemay y Boggs [27] realizaron una síntesis interpretativa de conocimiento sobre determinantes de adopción de automatización y robótica en agricultura, analizando 72 artículos publicados principalmente en 2020-2021. Sus hallazgos identifican que, más allá de factores técnicos, aspectos económicos (costo inicial, retorno de inversión), sociales (capacitación, aceptabilidad cultural) y regulatorios (políticas de apoyo, estándares de seguridad) son críticos para la adopción exitosa. Los autores enfatizan que tecnologías percibidas como viables técnicamente pero que enfrentan barreras económicas o de conocimiento tienen baja probabilidad de adopción generalizada, particularmente entre pequeños productores. Esta perspectiva es relevante para el prototipo evaluado, ya que, aunque la viabilidad técnica fue bien valorada, la implementación exitosa requerirá estrategias que aborden costos, capacitación y soporte técnico continuo.

Khanna et al. [28] analizan la economía de la adopción de tecnologías digitales de IA en agricultura y afirman que en agricultura las tecnologías digitales de IA alteran el espacio de decisión de los agricultores mediante gestión específica de la localidad, maquinaria autónoma o sistemas de recomendación, pero advierten que su adopción va acompañada de cambios en modelos económicos teóricos y empíricos tradicionales, ya que estas tecnologías traen consigo aprendizaje por refuerzo y adaptación continua que cambian radicalmente el modo de toma de decisiones en agricultura. Para el prototipo analizado, el valor no sólo se encuentra en la automatización del pesaje, sino en su potencial para generar datos estructurados que alimenten sistemas de gestión más amplios permitiendo cosas como realizar análisis predictivos, optimizar el inventario o tomar decisiones basadas en la evidencia. La alta aceptación en viabilidad demuestra que los expertos se ven señalados por este potencial transformador.

4.5 Limitaciones de la investigación

De acuerdo con el presente análisis, si bien el mismo ofrece información valiosa con relación a la percepción, desde la experiencia, del patrón de balanza automática, también hay que tener en cuenta

las premisas metodológicas que limitan de alguna manera la interpretación de los resultados. De un lado, la validación que se realizó fue exclusivamente mediante juicio experto en forma de cuestionario dicotómico y no incluyó pruebas empíricas del desempeño del patrón de balanza automática en condiciones reales de operación. A pesar de que, en fases tempranas de desarrollo tecnológico, la validación experta es un procedimiento adecuado y ofrece información de gran interés acerca de la relevancia conceptual y la viabilidad técnica, no debe sustituir la válida y rigurosa validación empírica, que incorpore mediciones objetivas de precisión, repetibilidad, robustez bajo condiciones variables y desempeño en el largo plazo.

En segundo lugar, el tamaño de la muestra de 25 expertos, aunque es un tamaño suficiente para los estudios exploratorios de validación inicial, limita la generalización de los hallazgos y la potencia estadística para realizar análisis estadísticos inferenciales. Los posteriores estudios se beneficiarían de muestras más amplias por sus análisis de subgrupos (por ejemplo, al comparar las perspectivas de los expertos en metrología con los de la agroindustria) y por sus análisis multivariantes más robustos. Adicionalmente, la muestra fue de conveniencia dentro del ámbito agroindustrial y de tecnologías de la información, lo cual, aunque apropiado para los objetivos del estudio, introduce potencial sesgo de selección que debe considerarse al interpretar los resultados. En tercer lugar, el instrumento de evaluación, aunque demostró confiabilidad interna aceptable ($\alpha = 0.759$), utilizó ítems dicotómicos que, si bien facilitan respuestas claras y reducen ambigüedad, limitan la riqueza de información capturada comparado con escalas Likert multi-punto que permitirían capturar matices en las percepciones de los expertos. Estudios subsecuentes podrían beneficiarse de instrumentos que combinen ítems cuantitativos (escalas de valoración) con componentes cualitativos (preguntas abiertas) para obtener comprensión más profunda de las razones subyacentes a las valoraciones expresadas.

En cuarto lugar, la evaluación fue conducida en una situación concreta del desarrollo del prototipo, careciendo de un seguimiento longitudinal para evaluar la evolución del sistema a medida que se introducen mejoras o cambios en respuesta a los comentarios iniciales. Por tanto, consideramos que, estudios longitudinales podrían ayudar a evaluar múltiples iteraciones del prototipo y permitirían ofrecer una evidencia más cercana a la eficacia de las estrategias de refinamiento y la trayectoria de maduración tecnológica del prototipo. Por último, el estudio no contemplaba ninguna evaluación formal económica sobre los costes de implementación, el retorno de la inversión proyectada, ni un análisis de viabilidad económica en función de las diferentes escalas de operación que es posible adoptar. Aunque la viabilidad fue evaluada cuantitativamente por expertos, un análisis económico riguroso sería necesario para poder informar decisiones de inversión y políticas de apoyo a nuevas tecnologías. Y finalmente, la investigación se circunscribió a un ámbito geográfico y agroindustrial concreto, de tal forma que, aunque es correcta para estudios de caso, dificulta la generalización de los hallazgos en otros ámbitos con otras particularidades de producción, infraestructuras tecnológicas o marcos regulatorios. Por tanto, las referidas limitaciones no invalidan la mayoría de los hallazgos del estudio, sino que delimitan su alcance interpretativo y marcan vías importantes para futuras investigaciones.

V. CONCLUSIONES

El prototipo de balanza automática integrada a un desgranador de maíz, desarrollado mediante tecnologías de la información, fue evaluado a través de validación experta, generándose evidencia relevante sobre su pertinencia técnica, viabilidad de implementación y necesidades de refinamiento. El resultado del nivel de aceptación general fue moderado-favorable, con variación entre indicadores que caracteriza las soluciones tecnológicas en etapa de maduración. Por otro lado, el reconocimiento del valor conceptual operativo junto con los aspectos técnicos se encuentra en un proceso de

maduración. En este orden de cosas, la viabilidad y la escalabilidad lograron una presencia más alta (65.33%), una eficiencia operacional que se ubica en segundo lugar (60.0%) y con la integración tecnológica al 56.0%. En lo que corresponde a la precisión y confiabilidad se logró un 52.0%, es decir, el prototipo requiere de ajustes técnicos antes de una implementación a mayor escala.

A partir de estos resultados, se podría concluir que el prototipo tiene un gran potencial de contribuir a la modernización de los procesos postcosecha en el sector agrícola, de manera especial en sistemas de producción de maíz donde la automatización y la medición precisa constituyen dimensiones críticas de eficiencia. La validación pericial respalda la existencia de una propuesta de valor bien definida en relación a la agricultura de precisión e implicando mejoras en el control operacional del desgranado. Por otro lado, la ejecución del potencial que tiene el prototipo exige un impulso a la mejora que toma como eje la precisión metrológica, la fiabilidad de los sensores y la integración sistémica del conjunto tecnológico, así como la validación experimental y la implementación de la tecnología en el marco de limitaciones económicas y capacidades técnicas de los usuarios finales.

En el marco de un horizonte temporal intermedio, la incorporación de técnicas vinculadas a la inteligencia artificial se plantea como una alternativa estratégica para conseguir no sólo una mejora del rendimiento del prototipo, sino también, y más importante aún, su escalabilidad latente, ya que los algoritmos de aprendizaje automático permitirían mejorar la calibración de la balanza, detectar anomalías en tiempo real, compensar las variaciones asociadas al comportamiento del grano y asistir en la toma de decisiones a partir de la obtención de análisis predictivos del proceso de postcosecha. En consonancia con este planteamiento, el prototipo podría transformarse de un sistema automatizado a uno semiautónomo que podría ser acoplado a entornos de agricultura digital como una contribución sostenida a la mejora de la eficiencia agroindustrial, la seguridad alimentaria y la adopción gradual de tecnologías avanzadas en la producción de maíz.

Contribución de los autores:

Los autores contribuyeron de manera equivalente en todas las etapas del estudio, incluyendo su concepción, diseño, análisis de datos, redacción y revisión.

Agradecimientos:

Se expresa un reconocimiento a la Universidad Agraria del Ecuador por el apoyo brindado.

Financiamiento:

El estudio ha sido autofinanciado por los autores.

Declaración de consentimiento informado:

La participación estuvo condicionada a la aceptación voluntaria del consentimiento informado.

Declaración de disponibilidad de datos:

Los datos del estudio están disponibles a solicitud razonable al autor de correspondencia.

Conflictos de intereses:

No existen conflictos de intereses.

Declaración de uso de IA:

No se utilizó ninguna herramienta de IA. El contenido académico es responsabilidad exclusiva del autor.





REFERENCIAS

- [1] O. Erenstein, M. Jaleta, K. Sonder, K. Mottaleb, and B. M. Prasanna, "Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications," *Food Sec.*, vol. 14, no. 5, pp. 1295–1319, Oct. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- [2] D. Kumar and P. Kalita, "Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries," *Foods*, vol. 6, no. 1, p. 8, Jan. 2017. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>
- [3] B. Nath, G. Chen, C. M. O'Sullivan, and D. Zare, "Research and Technologies to Reduce Grain Postharvest Losses: A Review," *Foods*, vol. 13, no. 12, p. 1875, Jun. 2024. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>
- [4] A. Soussi, E. Zero, R. Sacile, D. Trincherro, and M. Fossa, "Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review," *Sensors*, vol. 24, no. 8, p. 2647, Apr. 2024. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
- [5] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E.-H. M. Aggoune, "Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129551–129583, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609>
- [6] T. Alahmad, M. Neményi, and A. Nyéki, "Applying IoT Sensors and Big Data to Improve Precision Crop Production: A Review," *Agronomy*, vol. 13, no. 10, p. 2603, Oct. 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>
- [7] F. Ferrández-Pastor, J. García-Chamizo, M. Nieto-Hidalgo, J. Mora-Pascual, and J. Mora-Martínez, "Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture," *Sensors*, vol. 16, no. 7, p. 1141, Jul. 2016. <https://doi.org/10.3390/s16071141>
- [8] D. T. Byrne, H. Esmonde, D. P. Berry, F. McGovern, P. Creighton, and N. McHugh, "Sheep lameness detection from individual hoof load," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 158, pp. 241–248, Mar. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.048>
- [9] P. Jayaraman, A. Yavari, D. Georgakopoulos, A. Morshed, and A. Zaslavsky, "Internet of Things Platform for Smart Farming: Experiences and Lessons Learnt," *Sensors*, vol. 16, no. 11, p. 1884, Nov. 2016. <https://doi.org/10.3390/s16111884>
- [10] E. Navarro, N. Costa, and A. Pereira, "A Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming," *Sensors*, vol. 20, no. 15, p. 4231, Jul. 2020. <https://doi.org/10.3390/s20154231>
- [11] T. Miller, G. Mikiciuk, I. Durlík, M. Mikiciuk, A. Łobodzińska, and M. Śnieg, "The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now – A Systematic Review of Smart Sensing Technologies," *Sensors*, vol. 25, no. 12, p. 3583, Jun. 2025. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
- [12] J. A. Alcides, T. J. A. Da Silva, and S. P. Andrade, "Smart IoT lysimetry system by weighing with automatic cloud data storage," *Smart Agricultural Technology*, vol. 4, p. 100177, Aug. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100177>
- [13] Z. He, Q. Li, M. Chu, and G. Liu, "Dynamic weighing algorithm for dairy cows based on time domain features and error compensation," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 212, p. 108077, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108077>
- [14] A. Jorge De Paula Nunes Cassimiro, E. Da Silva Ramos, V. E. Cabrera, and E. Noronha De Andrade Freitas, "Milk weighing scale based on machine learning," *Smart Agricultural Technology*, vol. 7, p. 100417, Mar. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100417>
- [15] P. Burnos, J. Gajda, R. Sroka, M. Wasilewska, and C. Dolega, "High Accuracy Weigh-In-Motion Systems for Direct Enforcement," *Sensors*, vol. 21, no. 23, p. 8046, Dec. 2021. <https://doi.org/10.3390/s21238046>
- [16] J. S. Cardenas-Gallegos, P. M. Severns, P. Klimeš, L. N. Lacerda, A. Peduzzi, and R. Soranz Ferrarezi, "Reliable plant segmentation under variable greenhouse illumination conditions," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 229, p. 109711, Feb. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109711>
- [17] S. Mansoor, S. Iqbal, S. M. Popescu, S. L. Kim, Y. S. Chung, and J.-H. Baek, "Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives," *Front. Plant Sci.*, vol. 16, p. 1587869, May 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
- [18] M. Aarif K. O., A. Alam, and Y. Hotak, "Smart Sensor Technologies Shaping the Future of Precision Agriculture: Recent Advances and Future Outlooks," *Journal of Sensors*, vol. 2025, no. 1, p. 2460098, Jan. 2025. <https://doi.org/10.1155/js/2460098>
- [19] E. Burdilna, S. Serhienko, I. Serhienko, O. Chorna, and A. Nikolenko, "Automated Control System for Grain Throwers Based on Fuzzy Logic," in *2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine: IEEE, Sep. 2021, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598608>

- [20] L. He, F. Wu, X. Du, and G. Zhang, "Cascade-SORT: A robust fruit counting approach using multiple features cascade matching," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 200, p. 107223, Sep. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107223>
- [21] D. Rodrigues *et al.*, "Applying Remote Sensing, Sensors, and Computational Techniques to Sustainable Agriculture: From Grain Production to Post-Harvest," *Agriculture*, vol. 14, no. 1, p. 161, Jan. 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010161>
- [22] A. Latif, Suwarjono, M. A. Yusuf, and J. Budiasto, "Real-Time Framework for Sustainable IoT-Based Grain Drying Integrated Load, Temperature, and Energy Performance Monitoring," *I2M*, vol. 24, no. 3, pp. 195–206, Jun. 2025. <https://doi.org/10.18280/i2m.240301>
- [23] M. R. Sarker, M. G. M. Abdolrasol, S. Mohamad Hanif Md, R. A. Kadir, M. N. Ahmad, and J. L. Olazagoitia, "Advancing Agriculture Automation Systems: Technological Innovations, Possible Applications, Challenges, and Recommendations," *Advances in Agriculture*, vol. 2025, no. 1, p. 5518653, Jan. 2025. <https://doi.org/10.1155/aia/5518653>
- [24] X. Chen, "The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency," *Front. Plant Sci.*, vol. 16, p. 1675657, Sep. 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1675657>
- [25] X. Zhang, Q. Yang, A. Al Mamun, M. Masukujjaman, and M. M. Masud, "Acceptance of new agricultural technology among small rural farmers," *Humanit Soc Sci Commun*, vol. 11, no. 1, p. 1641, Dec. 2024. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04163-2>
- [26] R. J. Thomas, G. O'Hare, and D. Coyle, "Understanding technology acceptance in smart agriculture: A systematic review of empirical research in crop production," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 189, p. 122374, Apr. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122374>
- [27] M. A. Lemay and J. Boggs, "Determinants of adoption of automation and robotics technology in the agriculture sector—A mixed methods, narrative, interpretive knowledge synthesis," *PLOS Sustain Transform*, vol. 3, no. 11, p. e0000110, Nov. 2024. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000110>
- [28] M. Khanna, S. S. Atallah, T. Heckeley, L. Wu, and H. Storm, "Economics of the Adoption of Artificial Intelligence-Based Digital Technologies in Agriculture," *Annual Review of Resource Economics*, vol. 16, no. 1, pp. 41–61, Oct. 2024. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-101623-092515>

CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN THE SMART HOME: A REVIEW

SISTEMAS CIBERFÍSICOS EN EL HOGAR INTELIGENTE: UNA REVISIÓN

Enrique Ferruzola-Gomez^{1,*} , Nuvia Beltrán Robayo² , María Barrera Rea¹ , Jhon Barros Naranjo¹ 

¹Universidad Estatal de Milagro, Guayas, 091050, Ecuador

²Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón, 092301, Ecuador

*Corresponding Author: eferruzolag@unemi.edu.ec

Article history:

Received: 30 August 2025

Revised: 12 October 2025

Accepted: 17 December 2025

Online: 15 January 2026

Keywords:

Cyber-physical

Systems

Smart home

Digital twins

Artificial intelligence

Palabras clave:

Ciberfísico

Sistemas

Hogar inteligente

Gemelos digitales

Inteligencia Artificial

How to cite:

E. Ferruzola-Gomez, N. Beltrán Robayo, M. Barrera Rea, and J. Barros Naranjo, «Cyber-physical systems in the smart home: a review», *International Journal of Computational Innovations, Intelligent Systems and AI*, vol. 2, n.º 1, pp. 92–121, ene. 2026. doi: [10.64439/cisai.v2i1.10](https://doi.org/10.64439/cisai.v2i1.10)

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license.



Abstract:

Cyber-physical systems are composed of collaborative computational entities that are closely integrated with the physical environment, with smart home systems representing one of their most prominent applications. Through intelligent sensors and actuators, smart home systems aim to provide personalized services that enhance interaction between the digital and physical domains. However, existing conceptualizations of cyber-physical systems and smart home systems are often superficial and lack sufficient technical depth. To address this gap, this study analyzes journal articles and conference papers indexed in Web of Science and Scopus, guided by five research questions, while excluding works with low relevance or limited data integrity. The results reveal sustained growth in scientific production between 2014 and 2024, increasing from 405 publications in 2014 to 1,587 in 2023, which represents an approximate growth of 292%. The predominant enabling technologies identified include the Internet of Things, Artificial Intelligence, Machine Learning, and digital twins, which collectively account for more than 70% of the proposed systems. Current developments are primarily oriented toward health, safety, and energy efficiency, while significant challenges persist in data security, privacy, and system explainability.

Resumen:

Los sistemas ciberfísicos están conformados por entidades computacionales colaborativas estrechamente integradas con el entorno físico, siendo los sistemas de hogar inteligente una de sus aplicaciones más representativas. A través de sensores y actuadores inteligentes, los sistemas de hogar inteligente buscan ofrecer servicios personalizados que fortalezcan la interacción entre los dominios digital y físico. Sin embargo, las conceptualizaciones existentes sobre los sistemas ciberfísicos y los sistemas de hogar inteligente suelen ser superficiales y carecen de profundidad técnica. Para abordar esta brecha, el presente estudio analiza artículos de revistas y trabajos de conferencias indexados en Web of Science y Scopus, guiado por cinco preguntas de investigación, excluyendo aquellos con baja relevancia o limitada integridad de los datos. Los resultados evidencian un crecimiento sostenido de la producción científica entre 2014 y 2024, pasando de 405 publicaciones en 2014 a 1 587 en 2023, lo que representa un incremento aproximado del 292 %. Las tecnologías predominantes identificadas incluyen el internet de las cosas, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y los gemelos digitales, que en conjunto representan más del 70 % de los sistemas propuestos. Los desarrollos actuales se orientan principalmente hacia la salud, la seguridad y la eficiencia energética, persistiendo desafíos relevantes en seguridad, privacidad y explicabilidad de los sistemas.

I. INTRODUCTION

Technology has significantly transformed our homes over the last decade. The integration of cyber-physical systems within the smart home framework has emerged as one of the most prominent trends, given its potential to significantly change the way we interact with our domestic environment [1]. This technology system can collect information from its surroundings and adapt its actions based on that information. The development of smart products and services has contributed to the growing interconnection of devices and the exchange of information, such that the development of smart home technology has spread rapidly around the world, as it focuses on human well-being thanks to these systems [2].

The term “smart home” is not limited to people's residences. It has a broader technological meaning [3], encompassing smart homes, smart cities, smart factories, and smart societies, all regulated by computing technologies [4].

Researchers have increasingly become interested in the subject of smart home technology due to its advantages and the potential for a large global market technology [5]. Hence, the amalgamation of disciplines such as computer science, electronics, and engineering has expedited the advancement of cyber-physical systems in the context of smart homes. This notion entails the integration of physical objects with computing platforms, facilitating intelligent, two-way communication and interaction between them [6].

In this way, Fig. 1 describes the trend of review items in the field of the smart home that have been produced in the last decade and are listed in Scopus. Between 2014 and 2021, a steady increase in the number of review articles published on this topic is evident, from 11 in 2014 to 80 in 2021. We can attribute this increase to the growing interest in integrating smart technologies in homes to enhance comfort, efficiency, and safety. However, there is also a slight decrease in the number of revised articles between 2022 and 2023, which could indicate a stabilization or a change in the direction of research in this field. By March 2024, 22 articles had already been published, representing 29.73% compared to 2023.

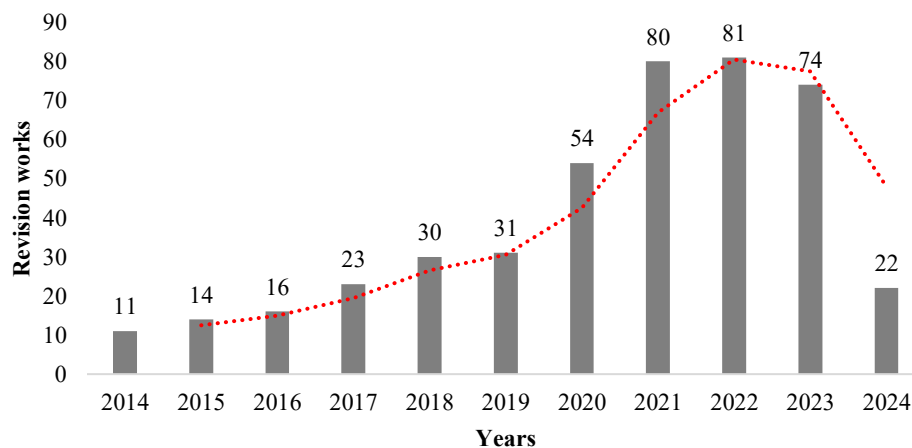


Figure 1. Revision work in the smart home domain

A second search for papers in the smart home domain, focusing specifically on scientific articles published between 2014 and 2024, shows a steady increase in the number of publications (Fig. 2). This increase is remarkable, starting with 405 articles in 2014 and reaching a peak of 1587 in 2023. This scenario reaffirms what was mentioned in the first paragraphs and ratifies the growing interest and dedication of the scientific community to research in this area of knowledge.

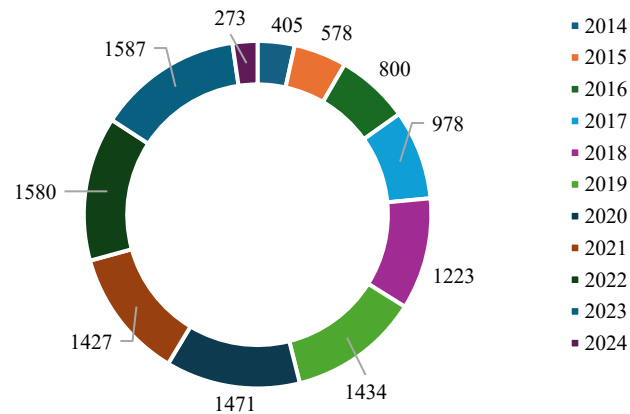


Figure 2. Scientific articles produced in the smart home field

It's essential to take into account that by including actuators, sensors and control systems in smart homes, there are many opportunities to enhance comfort, safety, security, healthcare, convenience and energy efficiency [7]. They also improve the quality of life through the remote and automatic control of household appliances [8]. Smart Home Systems (SHS), for example, provide a platform for remote supervision, utilizing telecommunications and Internet access to allow users to monitor and control their home remotely, focusing on elderly care [8]. For this reason, users can be able to control their home appliances while outside the house, as well as do some tasks at home before returning, using the SHS [9]. Additionally, using intelligent sensors, you can turn on/off lights, set the temperature and humidity levels of your home so as to maintain an optimum environment based on your preferences. One of the additional advantages of smart homes includes security systems, which include intrusion detection systems, allowing for higher security levels [10].

This rapid technological advancement has drastically changed the way we conceive and inhabit our homes. However, despite the progress made in this field, significant challenges remain that require careful attention. The primary concern revolves around the necessity to tackle the difficulties encountered by Cyber-Physical Systems (CPS) in the smart home sector. Although these systems promise to improve efficiency, security, and comfort in our homes, questions still arise about the technology they employ, what systems have been developed, and whether they are reliable for users. Several review articles [11] [9] [12] [13] [14] provide brief descriptions of advances in the field of SHS. However, these papers failed to provide a categorical analysis exposing the most current technologies and which systems could be reliably used by users. scientific review aims to investigate the necessity of acquiring a comprehensive comprehension of cyber-physical systems within the framework of smart houses. This paper addresses the gap in earlier reviews and establishes the following research questions:

- Question 1: What are cyber-physical systems?
- Question 2: How are smart homes defined?
- Question 3: What are the technologies used by cyber-physical systems in smart homes?
- Question 4: What systems have been proposed for smart homes?
- Question 5: What are the benefits and challenges of cyber-physical systems in smart homes?

The central goal of this work is to provide a comprehensive analysis of cyber-physical systems in an environment of smart homes. To achieve this purpose, Section 1 provides an introduction and motivation for studying.

We have divided Section 2 into two segments: the collection, inclusion, and exclusion of articles, and the data collection that focuses on the research questions. Section 3 provides an analysis and review of the selected research articles, as well as answers to each research question. Section 4 discusses in a timely manner some approaches to cyber-physical systems, smart homes, technologies, current systems, gaps, and benefits. Finally, Section 5 presents the conclusions of the review.

II. METHODS

Fig. 3 provides a comprehensive overview of the investigation technique employed in this study. The research is structured into three distinct phases: data retrieval, analysis of reviews, and discussion of findings and results. Each stage considers selected excerpts that could be considered a reference model for related researchers in the future.

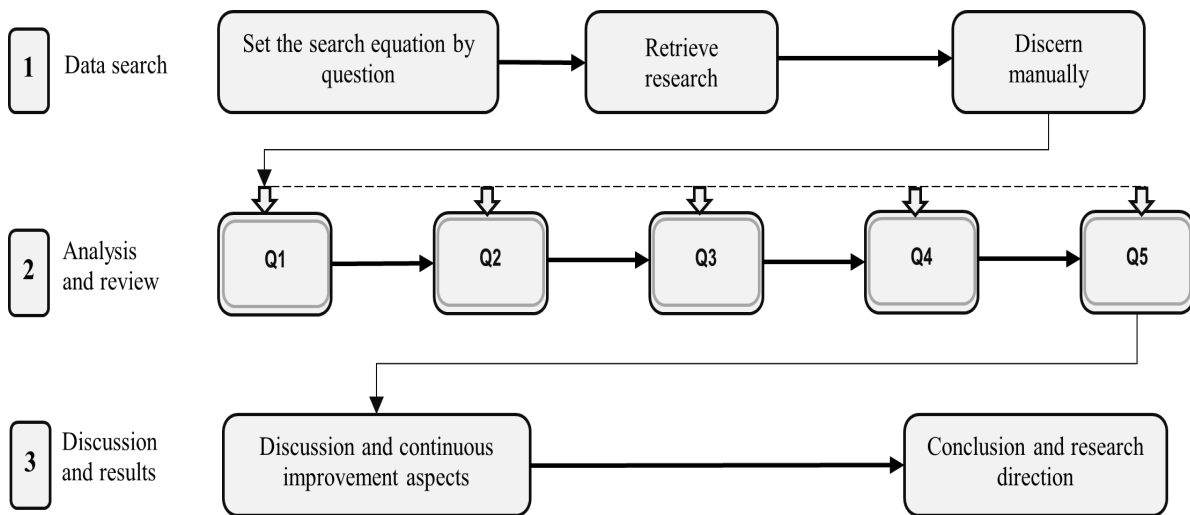


Figure 3. Methodology for the review

2.1 Article collection, inclusion and exclusion

The collection of articles began by defining the most prestigious databases of scientific quality. Scopus and Web of Science (WoS) were selected among several databases due to their completeness and accuracy in searching articles [15]. These systems offer comprehensive coverage of the worldwide research literature, with the WoS Core Collection comprising about 75 million records of publications [16]. In this investigation, relevant publications were acquired by Scopus and WoS Core Collection using their sophisticated search features.

The next step was to determine the search equations to ensure the success of a literature review. In this study, two groups of keywords were designed, considering the research questions. The first set focuses on terms related to “cyber-physical systems”, while the second set addresses aspects specific to the “smart home”. Both sets of keywords were extended to cover all possible combinations. Table 1 shows the search equations. Equation (1) explains the query string for searching articles in Scopus and equation (2) for searching in WoS. Thus, answering the research questions: what are cyber-physical systems? What technologies do cyber-physical systems use in smart homes? and What are their advantages and challenges? While searching equations (3) for WoS and (4) for Scopus answer the questions. How is smart home defined and what systems have been proposed for smart homes?

Table 1. Search equations

N	Query's
1	(TITLE-ABS-KEY("cyber-physical systems") OR TITLE-ABS-KEY("CPS")) AND (TITLE-ABS-KEY("smart home*") OR TITLE-ABS-KEY("intelligent home*") OR TITLE-ABS-KEY("home automation") OR TITLE-ABS-KEY("house automation")) AND (TITLE-ABS-KEY("technologies") OR TITLE-ABS-KEY("benefits") OR TITLE-ABS-KEY("challenges"))
2	(ts = ("cyber-physical systems" OR cps) AND ("smart home*" OR "intelligent home*" OR "home automation" OR "house automation")) AND ("technologies" OR "benefits" OR "challenges"))
3	(ts = ("smart home*" OR "smart house*" OR "intelligent home*" OR "intelligent house*" OR "remote home*" OR "remote house*" OR "home automation" OR "house automation" OR "automated house*" OR "smart living" OR "home automation system" OR "intelligent building" OR "domotics" OR "connected home" OR "ambient intelligence" OR "smart environment" OR "Internet of Things (IoT) home" OR "ambient assisted living") AND ("natural" OR "voice" OR "speech" OR "spoken" OR "verbal" OR "gesture" OR "touch" OR "emotion" OR "expression" OR "gaze" OR "eye*" OR "fixation" OR "position" OR "locat*" OR "vision" OR "hearing" OR "auditory" OR "taste" OR "olfactory" OR "smell" OR "haptic" OR "touch sensation" OR "sensory perception" OR "multimodal interaction"))
4	(TITLE-ABS-KEY("smart home*" OR "smart house*" OR "intelligent home*" OR "intelligent house*" OR "remote home*" OR "remote house*" OR "home automation" OR "house automation" OR "automated house*" OR "smart living" OR "home automation system" OR "intelligent building" OR "domotics" OR "connected home" OR "ambient intelligence" OR "smart environment" OR "Internet of Things (IoT) home" OR "ambient assisted living") AND TITLE-ABS-KEY("natural" OR "voice" OR "speech" OR "spoken" OR "verbal" OR "gesture" OR "touch" OR "emotion" OR "expression" OR "gaze" OR "eye*" OR "fixation" OR "position" OR "locat*" OR "vision" OR "hearing" OR "auditory" OR "taste" OR "olfactory" OR "smell" OR "haptic" OR "touch sensation" OR "sensory perception" OR "multimodal interaction"))

In addition to the foregoing, the PRISMA approach was employed due to its methodical and rigorous nature, making it suitable for conducting systematic reviews and meta-analyses of multidisciplinary investigations. Fig. 4 illustrates the stages that contribute to the research. The approach begins by measuring the amount of research based on the available bibliographic databases, which then leads to the search for up-to-date and high-quality scientific articles. This cycle also considers factors such as selection, eligibility, and inclusion of publications that are relevant to the study topic.

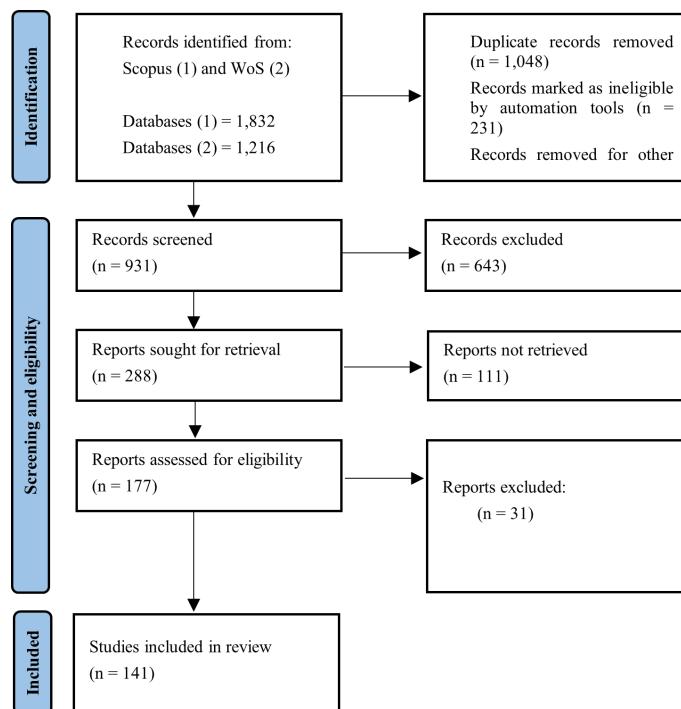


Figure 4. Procedure for the review

To ensure that high-quality information was obtained, the “ts” operator was used together with double quotation marks in the search code. This ensured that the keywords were exactly present in the title, abstract, author keywords, or plus keywords of the articles. The search was restricted to English. Only reviews, papers, presentations, and conference proceedings were included in this investigation because of excluding editorials and book reviews from consideration. During the search process, irrelevant topics were removed as well. The time frame for the collection of articles was defined as between 2005 and 2024 (up until March 11), so that all relevant publications could be retrieved.

2.2 Data Collection

In the data collection process, the focus was on answering research questions. For the first research question, “What are cyber-physical systems?”. The focus of this question is to obtain additional information on the current definitions and characteristics of cyber-physical systems. The second research question, “How do you define smart homes?” is of great interest due to the increasing implementation of smart technologies in residential environments. The precise definition of smart homes will help to understand professionals from different disciplines, such as engineers, interior designers, architects, and software developers, but it will also inform consumers about the related products and services in smart homes. In addition, a clear definition can guide the future development of policies and regulations in this field. For the third research question, “Technologies using cyber-physical systems in smart homes?” the purpose is to identify those trends so that designers, developers, and manufacturers of smart home-related products have the means to integrate more automated solutions in areas such as wellness or health, climate, security, energy control, and comfort.

The fourth research question is, “What systems have been proposed for smart homes?” involves recognizing technological solutions such as smart energy management systems, home automation devices for home automation (such as smart lighting systems, smart thermostats, and smart locks), advanced security systems with smart cameras and sensors, virtual assistants for remote home control and monitoring (such as Amazon Alexa, Google Assistant, or Apple HomeKit) [17], and health and wellness systems based on sensors and wearable devices (such as physical activity monitors and telemedicine devices). The fifth research question is, “Benefits and challenges of cyber-physical systems in smart homes?” aims to make visible as much as possible the benefits and the risks or shortcomings faced by users and society in general.

III. RESULTS

The purpose of this section is to address all the research questions raised and, in addition, to offer a reflection that promotes understanding and interest among the scientific community dedicated to this discipline.

3.1 Question 1: What are cyber-physical systems?

Cyber-physical systems are an exciting fusion of the physical world and the digital world, bringing together computational power, communication and control in physical devices in the “real” world that have never been seen before; creating a whole new generation of technological innovation and capabilities for interacting and responding to their environment [18]. They can be found in all areas such as Industrial Automation, Autonomous Vehicle, Smart Home, and Smart City development. All of these technologies will bring improved efficiency, accuracy, and convenience. However, in recent years, an increase in research dedicated to this area of knowledge has been observed, revolutionizing the way infrastructures are designed and managed with the aim of improving their capabilities through a synergistic combination of sensing, computing, and control mechanisms [19].

Among the identified limitations, the lack of CPS readability in current developments [20] and a conceptual framework that nurtures each development phase and process stand out.

In order to strengthen the above-mentioned, a conceptual model of CPS could be sketched according to Fig. 5. This illustration shows communication interaction that starts by collecting information, determining actions that have been performed, the state in which the system is, determining the decision according to the available data, and establishing an axis of interaction with humans. This conceptual model could not only contribute to having a clearer idea of how this type of system communicates but also allow for more graphic and current vision of the CPS.

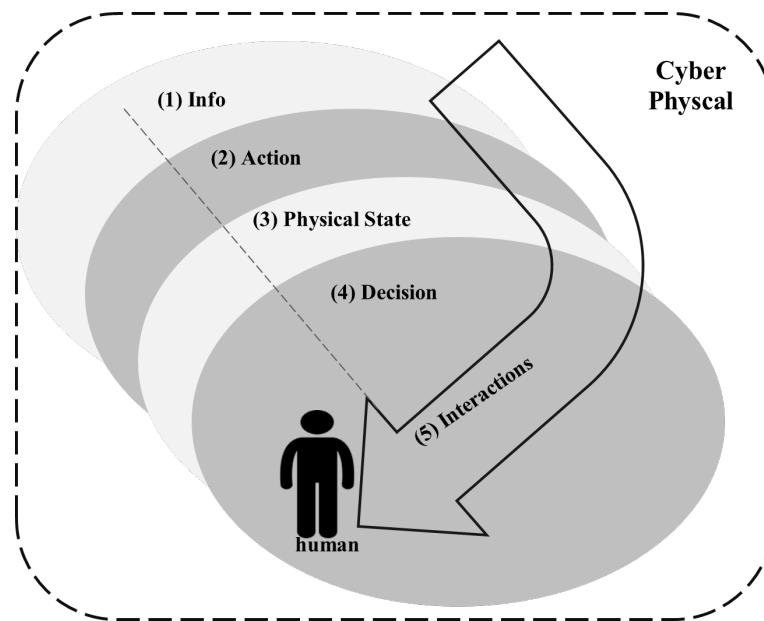


Figure 5. CPS conceptual model

Therefore, Fig. 6 illustrates what the basic structure of a cyber-physical system could be. The physical layer contains tangible components such as sensors, actuators, machines, and vehicles, which interact with the physical environment, generating data and performing actions. The sensor layer collects information from the environment, such as temperature, pressure, or location, and transmits it to the processing layer for analysis. The actuator layer executes physical actions in response to decisions made by the system. The processing layer uses algorithms and artificial intelligence systems to perform data analysis, decision-making, and system control. The communication layer facilitates data transmission between components using wired or wireless protocols. Similarly, the user interface layer provides tools for users to interact with the system, such as graphical interfaces or mobile applications, allowing monitoring, adjustments, and access to relevant information. Each of these layers collaborates to create a CPS.

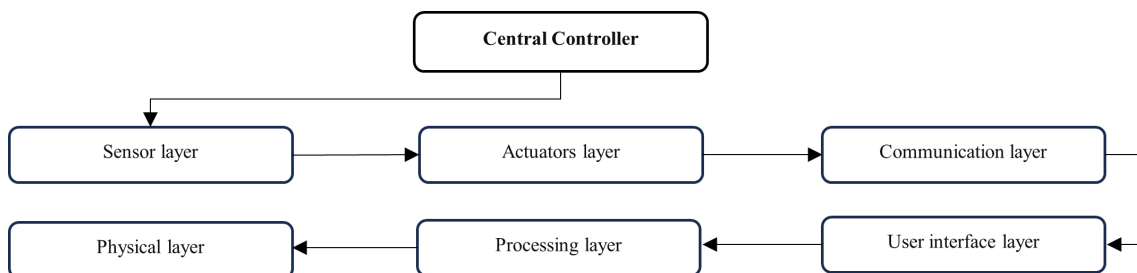


Figure 6. Basic structure of CPS

In this sense, authors such as [21] indicate that CPS are systems based on the integration of computer algorithms and physical components (controllers, sensors, and actuators) [22]. Although CPS are innovative systems that combine computer, control, and communication technologies to connect the virtual and physical realms, it is feasible to create hardware solutions that serve as interfaces for workstations [18] [23]. According to the information provided, CPSs are systems that are created to (1) improve the abilities of humans to interact with machines through interfaces, using techniques of human-computer interaction that are designed to adjust to the cognitive and physical requirements of operators, and (2) improve the physical, sensory, and cognitive abilities of humans by utilizing different technologies. Furthermore, it is specified that CPSs refer to the entities that serve as both the components of computers and physical processors [24]. The physical level encompasses sensors of CPS nodes that gather data, including information about the environment (such as temperature, humidity, and illumination), operating status information (such as velocity, vibration, and motion), and operating information to process (such as position, dimensions, and quality) [25].

Considering the information provided, Fig. 7 illustrates the core technologies involved in cyber-physical systems. These technologies include sensors and actuators, which are responsible for gathering data from the physical world and carrying out actions based on system signals. The Internet of Things is defined as a network of Internet-enabled physical objects. This allows for the exchange of information among all the different components of CPS. Cloud computing enables us to use scalable computer power to store and process the vast amounts of sensor data generated by CPS. Cloud computing also enables us to run CPS analysis and control algorithms. Wired and wireless communication networks allow for data exchange between the different CPS components. AI and machine learning are used in CPS to analyze data in real time, make decisions based on that analysis, and optimize performance of CPS. Cybersecurity protects sensitive data in CPS with techniques like encryption, authentication, and intrusion detection. We consider these technologies to be working together to create an efficient interface between the digital world and the physical world in cyber-physical systems.

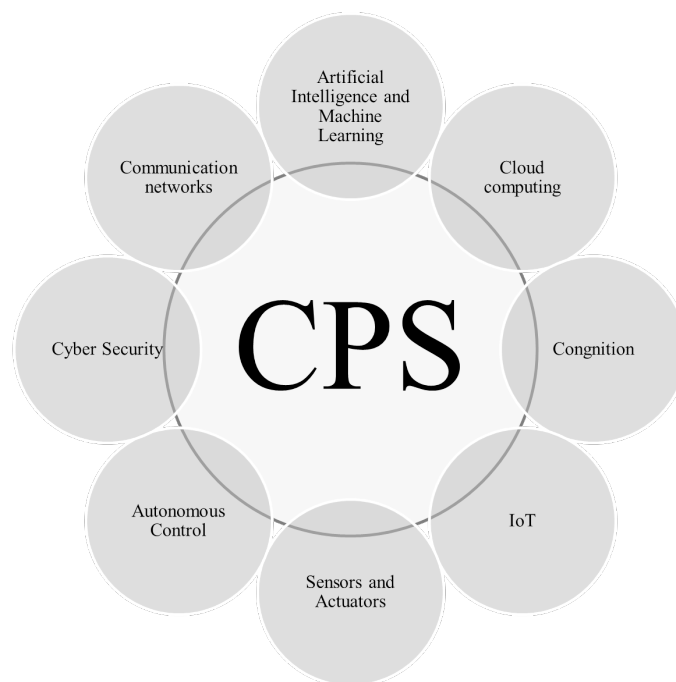


Figure 7. Basic technologies of CPS

Additional information shows that a CPS is made up of a combination of a physical component and a cybernetic twin. A cybernetic twin is defined as an imitation of an object (such as a computer program) of a physical entity. Developing a CPS will require developing a new platform of software as well as compliance with strict guidelines regarding mobility, safety, privacy, security, and the management of large amounts of data [26] [27]. For Cardin et al. [20] CPSs are sets of collaborative computational entities that maintain a close connection with the surrounding physical environment and its ongoing processes. These systems enable the simultaneous utilization of handling services and data that are accessible on the Internet. The research undertaken by [28] confirms that CPS are participatory computer systems that are intricately connected to the physical environment and its continuous operations. These systems offer both data access and data processing services that can be accessed on the Internet at the same time.

Also, [29] determines that this class of systems is defined by a tight integration of physical [30] and software processes for task management and user-centred decision-making through a mechatronic system (the physical world) coupled with software entities and digital information that allude to the industry 4.0 paradigm [31] [32]. One of the little-known facts lies in the fact that SCPs have allowed the transition from Industry 3.0 to Industry 4.0 [33]. If we talk about software, we refer to model-based design. While in the past, physical and software component models were developed separately, the trend towards cyber-physical system design has resulted in models with discrete and continuous dynamics, so-called hybrid systems [1].

The spectrum of CPSs leans towards technologies including robotics, the Internet of Things [3], and machine learning [34]. Nevertheless, it is important to note that a Cyber-Physical System primarily gathers and manages data about physical phenomena using networks of interconnected devices to accomplish its objective. On the other hand, the Internet of Things (IoT) encompasses all connected devices and a specific network of interconnected objects [35]. All this [6] determines CPS as an intelligent system in which physical and computational systems are integrated to control and detect the changing state of real-world variables. As for [36], CPSs are collaborative embedded computing devices capable of sensing and controlling physical elements and often responding to humans. Throughout several studies developed over time, we have considered it important to create a timeline (Fig. 8) that symbolizes the evolution of CPS from 2014 to 2024. Each stage in this timeline highlights a significant advancement in the field of CPS, spanning from collaborative computational entities, software, controllers, sensors, and actuators to the integration of algorithms and interaction elements with the physical world. Undoubtedly, these advances and perspectives are destined to improve or complement diverse functions in society.

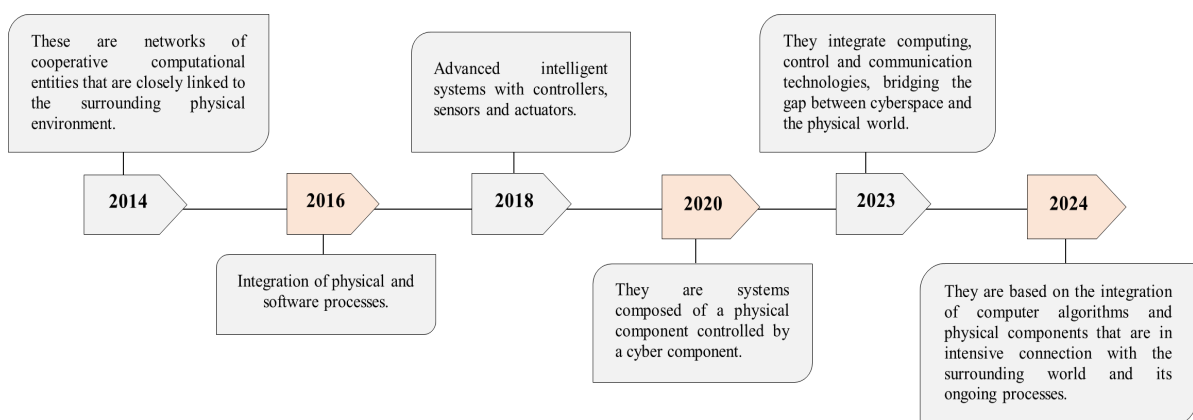


Figure 8. Definitions in recent years of CPS

The CPS has a wide variety of benefits, starting with the reduction of costs and development time along with the improvement of the designed products. This involves product virtualization. Virtualization allows for monitoring, controlling, and influencing the physical world in an adaptive and intelligent way with lower costs in the different development phases [37]. One of the reasons it is appealing is because it involves the collaboration of various fields [38], including mechanical engineering, electrical engineering, and computer science [39]. A CPS can interact with computer systems such as microprocessors and digital communication connections, as well as many physical systems including mechanical, chemical, structural, and biological ecosystems [40].

The integration of all these systems allows the development and inclusion of elements in health and biomedical surveillance, robotic systems, and intelligent edge devices for smart homes, among many other functions, and in opportunities that could be used to correct natural disasters, human errors, malicious actions, etc [30]. Ahmadi et al. [33] confirm that CPSs have a broad engineering scope that enables their use in various applications such as emergency response, air transportation, infrastructure, medical and health care, intelligent transport, robotics for services, and special smart manufacturing.

On the other hand, CPSs not only represent benefits, but they also face challenges that have to be addressed as part of the best continuum; among them we refer to security, data integrity, empathy, and understanding of their actions [41]. In this sense, we consider that the stability of SCP requires means that ensure reliable communication, safety, security, sensors, and electronics [6]. Each of the insights discussed above not only provides us with a clear picture of the evolution of cyber-physical systems but also allows us to discern and establish a functional structure on which these systems are predominantly focused (Fig. 9).

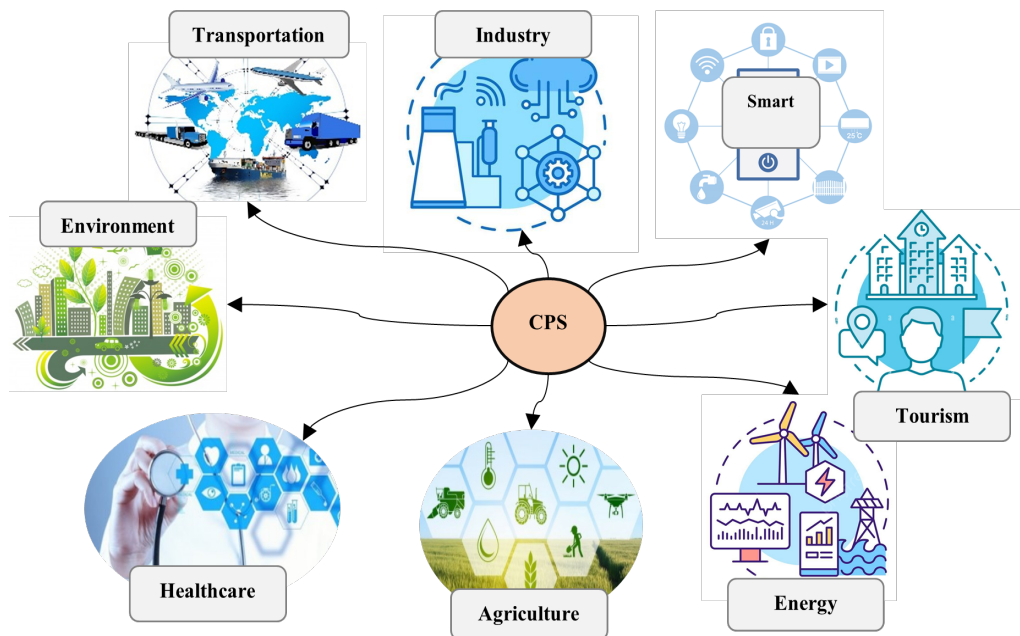


Figure 9. Industry vision through cyber-physical systems

On this path, various industries such as transportation, energy, healthcare, smart home, and many other sectors have excelled in adopting and adapting to innovations derived from CPS. For example, in the transportation sector, autonomous vehicles and intelligent traffic management have revolutionized urban mobility and logistics. In energy, the implementation of smart grids has improved energy efficiency and facilitated the integration of renewable energy sources. In

healthcare, telemedicine and connected medical devices have enabled more personalized and accessible medical care. In the context of smart homes, cyber physical systems that work together for the purpose of making both our lives easier and more comfortable and provide us with an opportunity to save energy and resources on a long-term basis. This is clear when you consider examples such as use of both thermal and motion sensors, which can be integrated into smart control systems. In this way, a smart home can automatically adjust heating/cooling (air-conditioning) and lighting based upon occupancy in each room, thereby reducing overall energy usage. Each of these examples illustrates how SCP is fundamentally transforming various aspects of society by offering more efficient, safer, and sustainable solutions to contemporary challenges.

3.2 Question 2: How are smart homes defined?

A considerable number of studies have explored the discipline of smart homes through the development of systems, applications, and methodologies, among other contributions that would benefit the community; however, as society moves into the future, the concept of smart homes has evolved beyond simple automation to become an integral part of achieving inclusive and sustainable industrialization [4]. In that sense, we have thought it convenient to reflect in this subsection the most recent and relevant definitions of the Smart Home (HS), since there are partially overlapping or similar definitions to the smart home [42].

Strangers et al. [43] indicates that the smart home concept first appeared in the 1930s as “homes of tomorrow”. One of the first smart home devices was the 100-pound “kitchen computer” [44]. Today [9] points out that smart homes are systems that automate household tasks. While [14] specifies that they are homes with technologically advanced systems that allow the automation of household tasks through simpler and more secure communication. According to Alam et al. [12], an intelligent home is a sophisticated environment that can adapt to the actions of its inhabitants. Furthermore, HS, as defined by [45], is considered a viable tool for automating or aiding users in various ways, such as by environmental intelligence, online home control, or systems for home automation. In [46], it is described as a sophisticated residential structure with incorporated equipment, highlighting contemporary technology, convenience, and domestic efficiency. Smart homes are defined in [46] as advanced residential structures that incorporate hardware for modern technology, comfort and efficiency. A “smart” home includes an overall view of the whole environment by combining all of the different devices and sensors in the home. Thus, this will allow a better fit for future usage and predictions based upon current status of the system and historical data of the occupants [13]. As shown in Fig. 10, each smart home has the same basic parts which include: end-user devices, sensors, appliances and actuators.

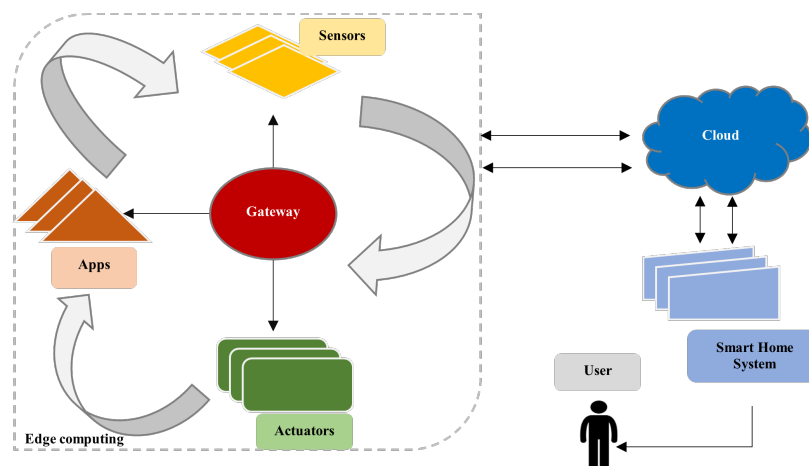


Figure 10. Architecture of a smart home

The devices in the system communicate with each other by way of a peripheral gateway which serves to connect the home networks internally with the public internet externally. This peripheral gateway acts as an intermediary for communication between the devices at both ends and detectors/systems as a whole and the public internet. The entire system is engineered to provide the most efficient service possible for the user's needs and wants.

According to [14], the main objective of HS is to offer superior comfort, enhance security, simplify energy management, minimize environmental pollutants, and achieve energy efficiency. According to [12], the term “smart home” refers to a modern use of ubiquitous technology that involves incorporating intelligence into the administration and functioning of homes for purposes such as comfort, healthcare, security, and energy saving [47]. These descriptions verify that the main objective of a smart house is to enhance the comfort of the occupants and simplify their everyday lives [48] [49] [50] [51] [52]. In this path, the functionality of the HS lies in establishing communication between appliances and users to enhance the automation, monitoring, and remote-control capabilities of the appliances [53] [54]. Smart houses incorporate a variety of technologies that can sense specific conditions and adjust the features of the household accordingly. In addition, they utilize remote monitoring over the Internet to enhance the intelligence, safety [55], and automation [56] objects. For instance, certain sensors are employed to monitor many factors including humidity, temperature, motion, safety (to activate an alarm or alert) [57], healthcare, LPG leaking, etc [58] [59] [60] [61] [62] [17].

According to the insights, smart homes offer comfort, health care, and protection to their residents. These comfort and health care services can be managed both locally and remotely. In addition to providing security measures that limit unauthorized access, Fig. 11 shows how some of the services most exposed by recent work are categorized.

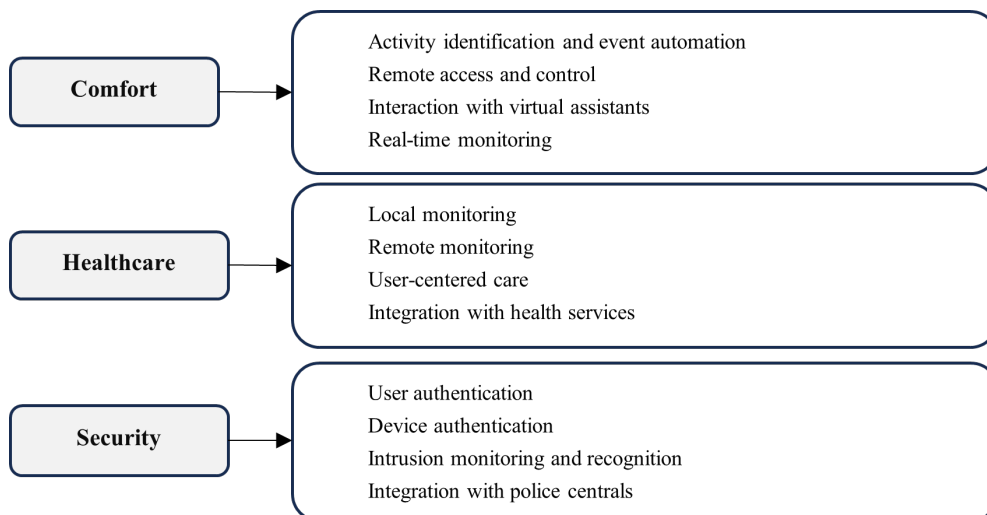


Figure 11. Categorization of some of the services expected in smart homes

Complementing the aforementioned, comfort is one of the main benefits of smart homes, facilitating daily life by increasing user productivity. This is achieved by identifying related human activities and automating events in local environments, remote management of the home from distant locations, interaction with virtual assistants, and permanent monitoring. Opportunities for such qualities optimize energy use because the home is smart enough to reduce energy consumption by controlling unattended appliances. In the same way, healthcare is responsible for providing healthcare services to patients, the elderly, and healthy people. This service can generate local health reports and, above all, integrate remote healthcare providers for emergency assistance. In the same

direction, security is another relevant factor in smart homes, which are vulnerable to user and device authentication. However, new interaction mechanisms and the integration of external services could contribute to reducing this gap and improving the perception of residents.

Another of the simple concepts of HS can be (1) automation and interactive technologies [63], (2) various devices are connected through the Internet and can communicate with each other to exchange information [64], and (3) personalized environments where residents participate in daily activities in their own way [65]. However, authors such as [66] point out that smart homes constitute an overlay network along with service providers such as cloud storage and smartphones. In this regard, [67] acknowledges that the term “smart home” denotes a residential setting equipped with sophisticated technology that allows for the supervision and management of its inhabitants, promoting self-sufficiency through the use of sensors and actuators to regulate the environment or by predicting well-being through the analysis of behavioral patterns. Jensen et al. [68] explain in their definition of a smart home a residence with a pervasive, intelligent, and interconnected system. The system is capable of identifying and satisfying the needs of comfort [11], convenience, entertainment, and safety of its occupants. Also notes that the evolution of smart homes has improved the notion of user identification, which has both protected users' private information and enabled vendors to deliver personalized services to them [69].

If we talk about sensors or actuators, these components are part of a technical structure, which can be constituted by several interconnected elements that work together to provide an efficient and adaptable residential environment to the needs of its inhabitants. In this way, Fig. 12 characterizes an alternative technical structure in the domain of smart homes, where sensors are considered the basis of this structure, collecting data from the environment such as temperature, humidity, movement, and air quality. This data can be processed by an automation platform, which allows programming rules and scenarios to automatically control the connected devices. On the other hand, the communication network facilitates the connection between all components, either through wired or wireless connections. Intelligent devices, such as lights, thermostats, locks, and security cameras, are controlled and monitored through this network. To interact with the system, an intuitive user interface is provided, which can be a mobile application, a web interface, or voice commands. In this way, data collected by sensors and devices is stored and analyzed to extract useful information about user behavior and improve the efficiency of the system over time.

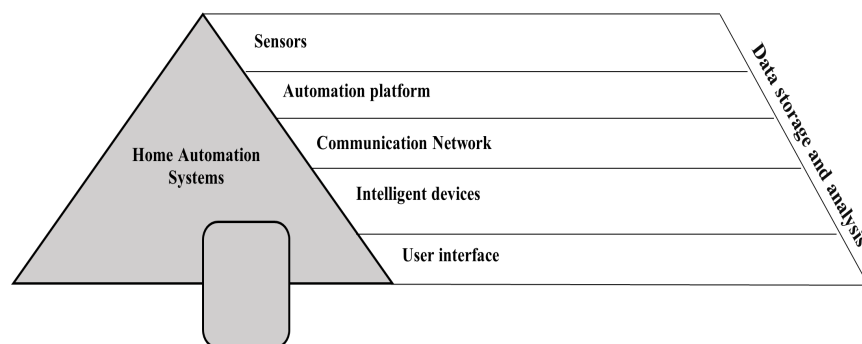


Figure 12. Technical structure of a smart home

On the other hand, smart homes are recognized as an important link in the IoT field, as they can benefit users or stakeholders [70] [71], in addition to improving people’s quality of life [44]. Among these improvements, we talk about living a more comfortable, economical (managing their energy consumption) [56] [72], healthy (assessing the health conditions of human activities through physical movement signatures) [73], environmentally friendly (reducing carbon emissions and using

renewable energy sources) [74], and secure via assistive services (i.e., automated services that are cognizant of the context) provided by ubiquitous computing applications [2].

We consider that applications with a ubiquitous approach in the smart home domain provide a cross-cutting look from the way of interacting to the right time to receive some kind of information. That is why some trends are inclined to recognize actions by voice or, in the best case, through interconnected devices in the cloud. In this way, Fig. 13 illustrates the interaction of a resident, a possible communication mechanism through various devices permanently accessible to the user, achieving the fulfillment of actions that optimize resources in terms of time and money.

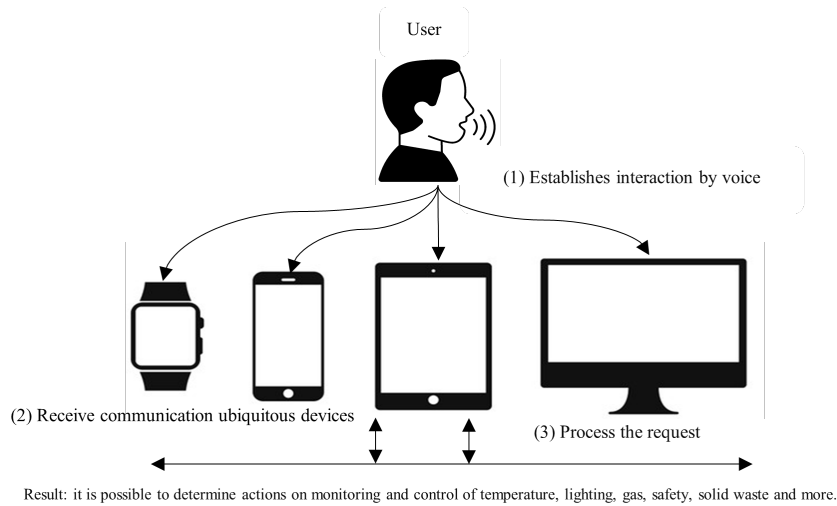


Figure 13. Interaction of a smart home based on voice recognition

A home system consists of a network of hardware and software components that observe the living space by gathering data on the homeowner's behavior and understanding their actions. By doing this, the system is able to identify and notify about potentially dangerous situations and carry out measures on behalf of the resident to their contentment [49]. Among the different challenges to data loss due to interference is efficient energy management. Smart home technology is expected to become widespread in the future and adapt to a green transition to reduce and change energy consumption [75] [76]. In this way, people can control the home environment efficiently and conveniently [5]. Finally, the acceptability of smart homes depends on user's perceptions of their benefits and their concerns related to monitoring (IoT sensors) and sharing or variability of their data [7] [77].

3.3 Question 3: What are the technologies used by cyber-physical systems in smart homes?

In this section, we will address the key technologies that make possible the automation and intelligent control of smart homes through cyber-physical systems. To this end, Table 2 responds to this question.

Table 2. Technologies used by cyber-physical systems in HS

Studies	IoT	AI	ML	Digital Twin
[78] [79][80]	+			+
[81][82][83]	+	+	+	
[84][85]	+	+	+	+
[86] [87]	+	+		
[88] [89] [90][91] [92]	+			
[93][94][41] [95] [96]				

Table 2 summarizes the technologies used by cyber-physical systems in the smart home domain, among the most common of which are IoT, AI, ML, and digital twins. Most researchers are inclined to believe that IoT is the most predominant technology for the development of this type of system. On the other hand, technologies such as AI and ML complement the execution of the tasks that are part of this type of system for the benefit of users. However, recent studies have mentioned the participation of digital twins. The latter technology could represent a disruptive change in the development of cyber-physical systems in the field of smart homes due to its ability to create accurate virtual replicas of physical devices and real-world processes. In this regard, it is remarked that digital twins allow simulations, analysis, and optimizations to be performed before implementing changes in the physical environment, which reduces the costs and risks associated with live testing. In this way, we believe that their integration into the smart home landscape promises to improve operational efficiency, personalization of user experiences, and adaptability to changing situations.

The technological advancements made by these technologies (IoT, AI, ML, Digital Twins) are developing Home Systems significantly. However, one cannot overlook the fact that this technology has the potential to revolutionize the Home Experience. Unlike previous smart home technologies that were designed to automate the day-to-day household chores, the new advances are not only capable of automating household tasks, but they will provide an even greater level of understanding for the individual needs and desires of those inhabiting the home. This increased understanding can be achieved through combining the data from smart sensors and advanced algorithms to allow smart home systems to proactively adjust to improve comfort, safety, and other functions based on the well-being and satisfaction of the user(s). For example, by analyzing behavioral patterns, these systems can anticipate user needs and automatically adjust the home environment to meet them. In this sense, CPS and HS not only offer advanced technological solutions but also promote more intuitive and human-centered interaction (Fig. 14) in the home environment of the future.

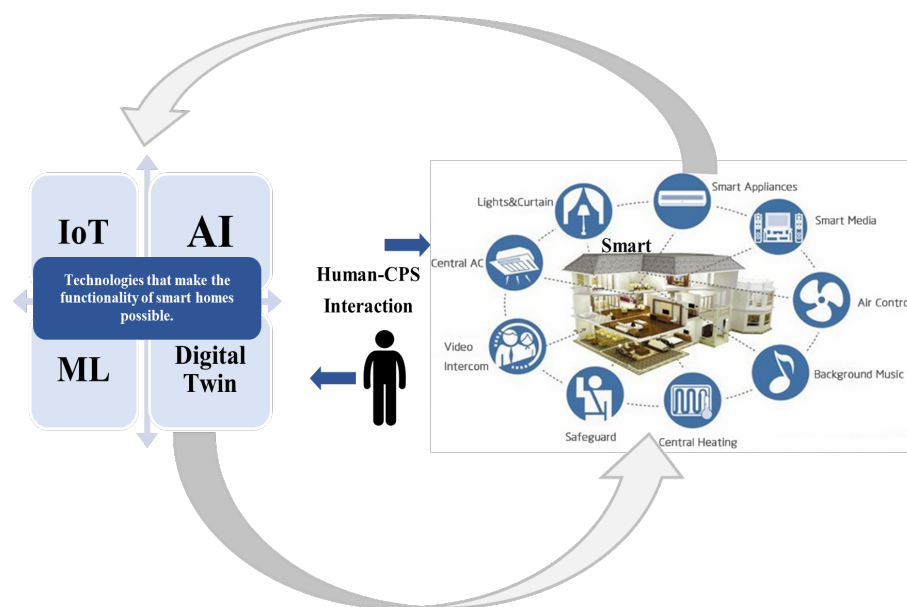


Figure 14. Current technologies focused on CPS in the field of HS

Finally, we believe that the development of this type of system could be complemented by integration mechanisms with augmented reality to improve the user experience in the configuration and control of domestic devices, allowing a more intuitive and visual interaction with the digital and physical environment. In this context, Fig. 15 exemplifies the role of augmented reality in the smart

home domain. In this specific example, the use of a smart refrigerator that is monitored by the residents through augmented reality is shown. This technology allows the user to check the status of the food inventory in the refrigerator, which facilitates decision making on the need to replenish supplies or identify available food at the time of inspection.

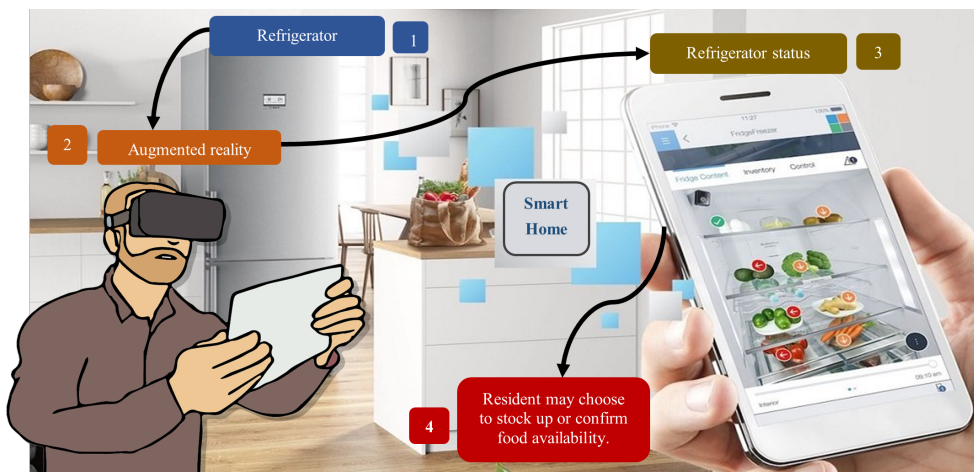


Figure 15. An example of the use of augmented reality in the smart home

On the other hand, blockchain technology could also contribute to ensuring the security and privacy of data in the cyber-physical systems of smart homes, providing a decentralized and transparent infrastructure for information management [97]. However, these precisions should be addressed in future studies in a way that drives and motivates the participation of ubiquitous and dynamic technologies with the sole purpose of providing greater flexibility and scalability in the management of connected home devices and services.

3.4 Question 4: What systems have been proposed for smart homes?

In the search carried out, a variety of systems aimed at the concept of smart homes were identified. From the review of 2000 scientific articles, 66 were rescued, and 14 categories of this type of system were determined (Table 3). Each category addresses different aspects of domestic life. A summary of these systems is presented below, highlighting their importance and application in the context of smart homes:

Table 3. Systems in the smart home domain between 2007 and 2024

Category	Description	Studies
Water	Regulating supply, detecting leaks, and promoting sustainable practices are increasingly common, optimizing the use of this vital resource.	[98][99]
Animals	Monitor the health, feeding, and behavior of pets, intelligently integrating them into family dynamics.	[100]
Heating	Prioritize energy efficiency and resident comfort by adjusting the room temperature precisely and according to the needs of each space.	[101][102][103]
Home Appliance Control	Its purpose is to establish more efficient energy consumption and greater convenience for users, who can monitor and control their devices from anywhere.	[104]
Voice Emotions	Adapt the home environment according to the emotional state of the residents, improving their emotional well-being.	[105]
Energy	Optimizing energy consumption, energy management systems integrate renewable sources, smart storage, and efficient technologies to reduce costs and promote sustainability in the home.	[106][107][108][109][110][111][112][113]

Table 3 (continued)

Category	Description	Studies
Metaverse	It offers immersive and personalized experiences through metaverse systems, redefining the way they interact with the home environment.	[114]
Movements	Its purpose is to establish more effective security management and provide comfort to the inhabitants by adapting the environment to their needs.	[115]
Multifunctional	They combine diverse functionalities to offer comprehensive solutions for multiple aspects of home life, from security to entertainment.	[116][117][118][119][120][64][121][122][123][124][125][126][127][128][129]
Multifunctional Low	They offer similar functionalities to multifunctional systems, but with a focus on accessibility and economy of resources, providing intelligent solutions at a reduced cost.	[130][131][132][133][134]
Solid Waste	Its objective is to contribute to environmental sustainability, from separation and recycling to waste reduction, by promoting responsible practices among residents.	[135]
Irrigation	They optimize the use of water and ensure proper maintenance of vegetation, thus improving the domestic environment and promoting connection with nature.	[136][137]
Health	Prioritization of residents' well-being and health. These systems offer solutions to monitor, diagnose, and manage chronic diseases, as well as promote healthy living habits.	[138][8][139][140][141][142][143][144][145][146][147][148][149][150][151][152]
Security	Safeguarding the residents' integrity. These systems integrate technologies for surveillance, intrusion detection, and early warning of risk situations, guaranteeing the protection and peace of mind of residents.	[153][10][154][155][156][157][158]

Together, these systems represent a distinctive advance in improving the quality of life in the home, promoting efficiency, comfort, and the well-being of its inhabitants through the intelligent integration of innovative technologies. We consider that the effective implementation of these systems will transform and generate a new life experience for the user by providing a safer, more sustainable, and adaptable home to their needs.

To complement Table 3, we have statistically quantified the categories in which more smart home-centric systems are under development in Fig. 16. The smart home systems that focus on the health component (24.24%) are the ones that have been proposed and implemented the most. Similarly, multifunctional systems had 22.73%, security had 13.64%, and energy management had 12.12%. These types of systems have been the most predominant, while, in this analysis, recent research has shown that metaverses, something new and disturbing for residents, are being considered. Another important consideration is that smart home systems are beginning to be developed that involve household pets, such as cats. This spectrum, integrating pets as part of the family, is an inclusive advance that has been little anticipated but is undoubtedly a complementary alternative to the comfort of users in the domestic environment.

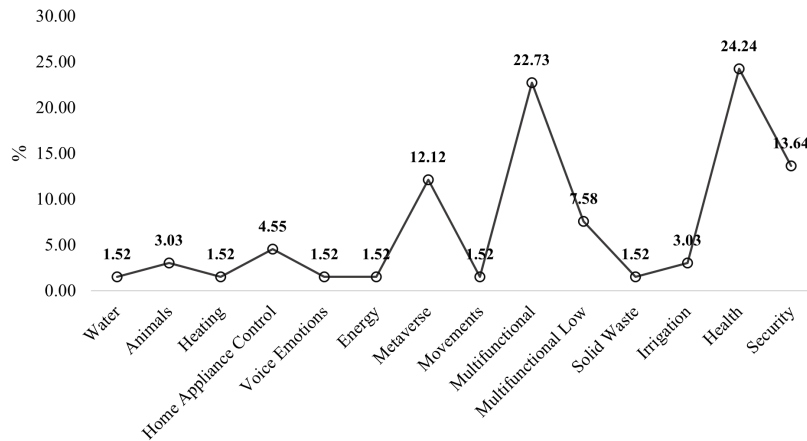


Figure 16. Type of systems in the smart home domain between 2007 and 2024.

3.5 Question 5: What are the benefits and challenges of cyber-physical systems in smart homes?

Cyber-physical systems in smart homes represent a significant evolution in the integration of technologies to improve the quality of life of residents [159]. They offer a wide range of benefits, from automating everyday tasks to personalizing experiences and advanced health monitoring [160]. This system has the capability to provide healthy convenience to residents by integrating modern technology in a way that is efficient at improving areas that include lighting, HVAC, energy, and security. This will allow the residents to have an added sense of security and peace of mind, as well as protect them from unwanted threats.

In this way, the advantages mentioned in Fig. 17 are amplified and extended as it is shown that these systems also allow the automation of many different functions that increase the comfort and reduce the time spent by users. These devices also help to optimize the energy consumption of homes, therefore the users have lower bills for utilities and the best possible use of the available resources. Smart locks and surveillance cameras can enhance the security of a house by allowing remote viewing and real-time notification of unusual activity. They can also provide an experience that is customized to the needs of each resident, so that they may be able to take advantage of their unique preferences, habits and requirements. Home owners can access and manage different features of their homes using either their mobile device or computer, including temperature, lighting and appliances, which will create even greater convenience and effectiveness in managing their homes.

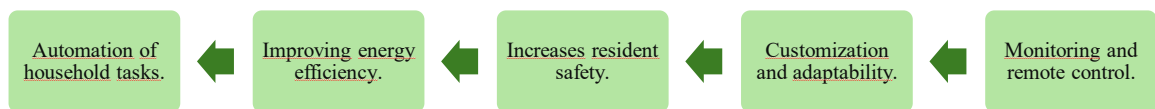


Figure 17. Benefits of cyber-physical systems in the smart home

However, the implementation of these systems also presents challenges, such as privacy, security [161], data variability [162], reliance on AI [163], as well as interoperability between devices and manufacturers. On the other hand, the collection of personal data assets makes smart homes a target for cyberattacks [164]. Similarly, [138] indicates that there is poor manageability, rigidity, difficulty in achieving security, and high ownership costs. Another obstacle is the deployment of CPS applications that often do not know how to process and manage large amounts of data generated for

decision-making [165]. It is also known that several CPS devices from major vendors have suffered vulnerabilities in their operating systems, leading to unauthorized information disclosure [166].

Fig. 18 summarizes the most common challenges affecting cyber-physical systems in smart homes, as described in the previous section. For example, due to the connectivity of devices in smart homes, concerns may arise regarding the privacy and security of individuals' personal data, depending on whether adequate security precautions have been taken to protect such data. Another potential problem is the complexity of integrating multiple devices from different manufacturers that use different communication protocols, making it difficult for them to work together (interoperability) to avoid compatibility and usage issues. The cost of installing these systems often involves a high initial cost, followed by long-term maintenance and updates for all devices and software. Last but not least, the operation of many devices may depend on an active and continuous Internet connection, which could be problematic for those living in areas where coverage is limited and/or subject to service interruptions. Adopting new technologies in the home can take time and effort for users to become familiar with the features and functions of the systems, which can lead to resistance to change or initial frustration.

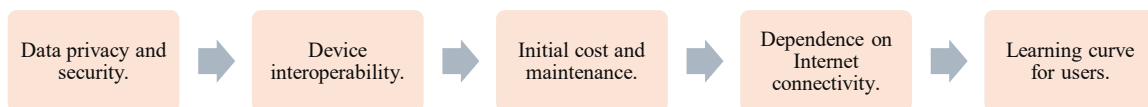


Figure 18. Challenges of cyber-physical systems in smart home

In order to mitigate cyber dangers, it is necessary to develop new planning processes, tactics, and strategies to govern both internal and external devices, notwithstanding the numerous advantages offered by cyber-physical technology [167] [168] [169]. Finally, we consider that to fully exploit the benefits of cyber-physical systems in the smart home domain, it is necessary to consider the social aspect [170] and that the design and development of the systems should focus on including the “human” in the whole process [171] [172].

IV. DISCUSSION

Our review of cyber-physical systems for smart homes offers us an extremely interesting and exciting vision of this convergence of technologies to improve the quality of life of the inhabitants of this environment. In response to the initial question posed to us about the definition of CPS, we have found that the list of definitions is varied and highlights the richness and complexity of this field. In their purest definition, CPS are a fusion of computing and physical components, such as sensors and actuators, to interact richly and responsively with the physical world. This fusion of technologies contributes to the automation and control of smart homes, but it also transforms the way we relate to everyday life. There are many definitions of CPS, depending on the perspective and how they are used. From a more technical perspective, CPS could be defined as all the technology needed to combine computer systems and physical processes to improve interaction between these peers or increase their efficiency. In the case of the smart home, CPS is key to understanding the automation, control, and intelligent use of a multitude of devices and systems, from lighting and temperature or climate control to security and health monitoring, where CPS offers residents undeniable benefits in terms of comfort and efficiency in the home. In addressing the technologies involved in CPS, we have shown the decisive role played by IoT, AI, machine learning, and digital twins.

While IoT remains the predominant technology, we observed a growing interest in digital twins as an innovative tool to simulate, analyze, and optimize the operation of home devices and processes before their physical implementation. To strengthen the perspectives, Fig. 19 illustrates some emerging technological solutions for smart homes where the integration of cyber-physical elements is possible. The IoT is expected to remain the main driver for the interconnected ecosystem, facilitating the integration of intelligent devices, networked communications, and services.

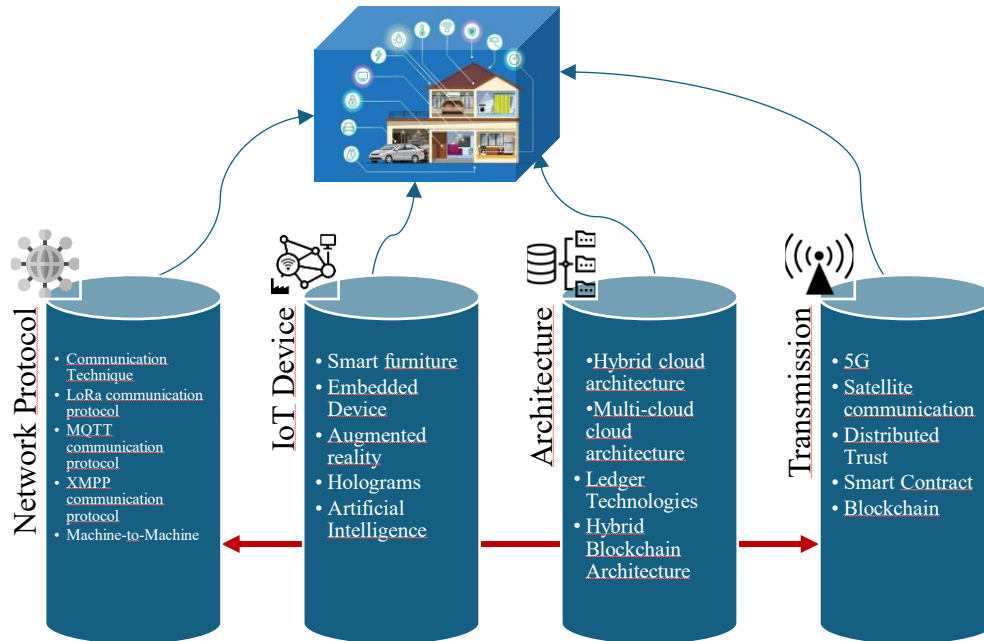


Figure 19. Emerging technologies for smart homes

Today’s IoT devices are rarely able to make efficient use of the data from users’ activities in a real-world environment because of their lack of sensors and actuators. The amount of time it takes for an individual to interact with a terminal device can be reduced by utilizing AI to provide speech and gesture input which ultimately increases the efficiency of the terminal device. In addition, the ability to have rapid access to relevant data about an individual’s activity through 5G technology will allow people to continue to enjoy the highest possible level of independence when remotely monitored. As a result of ongoing advancements in 5G technology, IoT and AI, there will likely be new areas of growth in this area as well in the future.

On the other hand, the diversity of systems developed for smart home (home health systems, etc.) can range from multifunctional to security systems. These systems will improve the quality of life within the home through increased efficiency, comfort and well-being for the residents. A growing number of these systems include household pets in their design. Therefore, it represents an inclusive approach to designing a whole home environment that meets all the needs of the family. There are many challenges to overcome with implementation of these systems. They include privacy, security, interoperability, and reliability on artificial intelligence as they relate to safe and widespread usage of Cyber-Physical Systems in the Smart Home. Reflection on our research on CPS in the Smart Home has provided us a starting point for thinking about the transformation potential of technology while simultaneously addressing the ethical and practical challenges that have arisen to create a more connected and digital future.

V. CONCLUSIONS

Based on the analysis of cyber-physical systems in relation to smart homes, we can conclude that CPS are defined by the way they are able to interconnect computing, communication, and control in the context of a real environment, driving various sectors and achieving efficiency, spontaneity, and comfort. On the other hand, the concept of the smart home has included a series of existing technological systems that allow them to both plan and execute tasks, as well as increase security, manage energy, and improve the comfort of occupants. However, the arrival of other technologies such as IoT or AI (artificial intelligence), machine learning, and digital twins allows for a greater role in the automation of smart home control, providing clear benefits in terms of efficiency, comfort, and security. To take advantage of these advances, it is necessary to address various associated issues related to privacy, security, interoperability, and dependence on AI.

Another identified weakness is the lack of explainability in most smart home systems, leading to user distrust and disengagement. In the future, the research direction will likely expand to address new advances and challenges in the field of cyber-physical systems in smart homes. This could include research on even more advanced emerging technologies, such as quantum computing applied to home CPS, the integration of wearable devices, augmented reality in the home environment, and generative AI. As a second instance, in the design and development of standards and regulatory frameworks to ensure safe and ethical implementation of cyber-physical systems in the smart home, as well as in the assessment of their long-term impact on the quality of life of individuals and society.

Author contributions:

The authors contributed equally to the manuscript review process.

Acknowledgments:

Not applicable.

Funding statement:

The study was self-funded by the authors.

Informed consent statement:

Not applicable.

Data availability statement:

The data used in this paper can be requested from the corresponding.

Conflicts of interest:

The authors declare that they have no conflicts of interest to report regarding the present study.

AI use statement:

No AI tools were used. The academic content is the sole responsibility of the authors.

REFERENCES

- [1] H. Roehm, J. Oehlerking, M. Woehrle, and M. Althoff, "Model conformance for cyber-physical systems: A survey," *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, vol. 3, no. 3, 2019. <https://doi.org/10.1145/3306157>
- [2] S.-P. Tseng, B.-R. Li, J.-L. Pan, and C.-J. Lin, "An application of Internet of things with motion sensing on smart house," in *2014 International Conference on Orange Technologies*, 2014, pp. 65–68. <https://doi.org/10.1109/ICOT.2014.6956600>
- [3] M. Schranz et al., "Swarm Intelligence and cyber-physical systems: Concepts, challenges and future trends," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 60, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100762>
- [4] A. Sahoo, V. Warathe, A. Katoch, and N. K. Walia, "The Next Frontier: Futuristic Home Control Systems for Modern Living," in *2023 9th International Conference on Signal Processing and Communication, ICSC 2023*, M. J. and C. B., Eds., Dept of CSE, UIE Chandigarh University, Punjab, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 479–484. <https://doi.org/10.1109/ICSC60394.2023.10441230>
- [5] M. Hasan, P. Biswas, M. T. I. Bilash, and M. A. Z. Dipto, "Smart home systems: Overview and comparative analysis," in *Proceedings - 2018 4th IEEE International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks, ICRCICN 2018*, S. V., D. S., B. D., R. H., M. A., B. S., D. D., P. I., and B. H., Eds., Department of Electrical and Computer Engineering, North South University, Dhaka, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018, pp. 264–268. <https://doi.org/10.1109/ICRCICN.2018.8718722>
- [6] A. Khalid, P. Kirisci, Z. Ghairi, K.-D. Thoben, and J. Pannek, "A methodology to develop collaborative robotic cyber physical systems for production environments," *Logistics Research*, vol. 9, no. 1, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12159-016-0151-x>
- [7] D. Singh, I. Psychoula, J. Kropf, S. Hanke, and A. Holzinger, "Users' perceptions and attitudes towards smart home technologies," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, A. B., M. M., and A. H., Eds., AIT Austrian Institute of Technology, Wiener Neustadt, Austria: Springer Verlag, 2018, pp. 203–214. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94523-1_18
- [8] B. Friedrich, L. Elgert, D. Eckhoff, J. M. Bauer, and A. Hein, "A system for monitoring the functional status of older adults in daily life," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39483-x>
- [9] G. Lobaccaro, S. Carlucci, and E. Löfström, "A review of systems and technologies for smart homes and smart grids," *Energies*, vol. 9, no. 5, 2016. <https://doi.org/10.3390/en9050348>
- [10] A. Sobhani, F. Khorshidi, and M. Fakhredanesh, "DeepPLS: Personalize Lighting in Smart Home by Human Detection, Recognition, and Tracking," *SN Computer Science*, vol. 4, no. 6, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02240-y>
- [11] A. Chakraborty, M. Islam, F. Shahriyar, S. Islam, H. U. Zaman, and M. Hasan, "Smart Home System: A Comprehensive Review," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2023, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/7616683>
- [12] M. R. Alam, M. B. I. Reaz, and M. A. M. Ali, "A Review of Smart Homes—Past, Present, and Future," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 42, no. 6, pp. 1190–1203, 2012. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2012.2189204>
- [13] D. Mocrii, Y. Chen, and P. Musilek, "IoT-based smart homes: A review of system architecture, software, communications, privacy and security," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 1–2, pp. 81–98, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.08.009>
- [14] A. Saad al-sumaiti, M. H. Ahmed, and M. M. A. Salama, "Smart Home Activities: A Literature Review," *Electric Power Components and Systems*, vol. 42, no. 3–4, pp. 294–305, Mar. 2014. <https://doi.org/10.1080/15325008.2013.832439>
- [15] M. Visser, N. J. van Eck, and L. Waltman, "Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic," *Quantitative Science Studies*, vol. 2, no. 1, pp. 20–41, Apr. 2021. https://doi.org/10.1162/qss_a_00112
- [16] C. Birkle, D. A. Pendlebury, J. Schnell, and J. Adams, "Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity," *Quantitative Science Studies*, vol. 1, no. 1, pp. 363–376, Feb. 2020. https://doi.org/10.1162/qss_a_00018
- [17] R. Faizrahmanov, A. Platunov, and M. R. Bahrami, "Smart Home User Interface: Overview," in *2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2023, pp. 595–600. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM57311.2023.10139050>
- [18] Z. Yu, H. Gao, X. Cong, N. Wu, and H. H. Song, "A Survey on Cyber-Physical Systems Security," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 24, pp. 21670–21686, 2023. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3289625>
- [19] M. Doctorarastoo, K. Flanigan, M. Bergés, and C. McComb, "Modeling Human Behavior in Cyber-Physical-Social Infrastructure Systems," in *BuildSys 2023 - Proceedings of the 10th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, United States: Association for Computing Machinery, Inc, 2023, pp. 370–376. <https://doi.org/10.1145/3600100.3626338>
- [20] O. Cardin, "Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework," *Computers in Industry*, vol. 104, pp. 11–21, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.002>
- [21] O. Kaynak, "Evolution of Cyber Physical Systems Towards Industrial Metaverse," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, A. R.A., Y. N.R., K. J., P. W., B. M.B., S. F.M., and T. S.M., Eds., Turkish Academy of Sciences, Ankara, Turkey: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024, p. 2. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51521-7_2
- [22] C. Sun, G. Cembrano, V. Puig, and J. Meseguer, "Cyber-physical systems for real-time management in the urban water cycle," in *Proceedings - 2018 4th International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks, CySWater 2018*, Institut de Robòtica i Informàtica Industrial (CSIC-UPC), Barcelona, Spain: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018, pp. 5–8. <https://doi.org/10.1109/CySWater.2018.00008>

- [23] D. Kolberg and D. Zühlke, "Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies," in *IFAC-PapersOnLine*, D. A., S. J., and Z. M., Eds., Department of Innovative Factory Systems (IFS), German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI) GmbH, Kaiserslautern, Germany, 2015, pp. 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- [24] D. Romero, P. Bernus, O. Noran, J. Stahre, and Å. F. Berglund, "The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems," in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, N. I., V. O., R. J.M., G. R.F., S. M.T., von C. G., and K. D., Eds., Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Mexico: Springer New York LLC, 2016, pp. 677–686. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_80
- [25] X. Xu, X. Zhang, M. Khan, W. Dou, S. Xue, and S. Yu, "A balanced virtual machine scheduling method for energy-performance trade-offs in cyber-physical cloud systems," *Future Generation Computer Systems*, vol. 105, pp. 789–799, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.057>
- [26] R. Atat, L. Liu, J. Wu, G. Li, C. Ye, and Y. Yang, "Big Data Meet Cyber-Physical Systems: A Panoramic Survey," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 73603–73636, 2018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2878681>
- [27] C. G. Cassandras, "Smart Cities as Cyber-Physical Social Systems," *Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 156–158, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.02.012>
- [28] L. Monostori, "Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges," *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 9–13, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
- [29] L. Petnga and M. Austin, "An ontological framework for knowledge modeling and decision support in cyber-physical systems," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, no. 1, pp. 77–94, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.12.003>
- [30] P. Radanliev, D. De Roure, M. Van Kleek, O. Santos, and U. Ani, "Artificial intelligence in cyber physical systems," *AI and Society*, vol. 36, no. 3, pp. 783–796, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00146-020-01049-0>
- [31] L. A. Cruz Salazar, D. Ryashentseva, A. Lüder, and B. Vogel-Heuser, "Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern—comparison of selected approaches mapping four agent patterns," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, no. 9, pp. 4005–4034, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03800-4>
- [32] M. Lezoche and H. Panetto, "Cyber-Physical Systems, a new formal paradigm to model redundancy and resiliency," *Enterprise Information Systems*, vol. 14, no. 8, pp. 1150–1171, 2020. <https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1536807>
- [33] A. Ahmadi, C. Cherifi, V. Cheutet, and Y. Ouzrout, "A review of CPS 5 components architecture for manufacturing based on standards," in *International Conference on Software, Knowledge Information, Industrial Management and Applications, SKIMA*, University Lyon, University Lumiere Lyon2, INSA Lyon, DISP EA4570, France: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. <https://doi.org/10.1109/SKIMA.2017.8294091>
- [34] I. Akkaya, P. Derler, S. Emoto, and E. A. Lee, "Systems Engineering for Industrial Cyber-Physical Systems Using Aspects," *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 5, pp. 997–1012, 2016. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2512265>
- [35] B. A. Yilma, H. Panetto, and Y. Naudet, "Systemic formalisation of Cyber-Physical-Social System (CPSS): A systematic literature review," *Computers in Industry*, vol. 129, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103458>
- [36] M. Masin et al., "Cross-layer design of reconfigurable cyber-physical systems," in *Proceedings of the 2017 Design, Automation and Test in Europe, DATE 2017*, IBM Research, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 740–745. <https://doi.org/10.23919/DATE.2017.7927088>
- [37] P. Hehenberger, B. Vogel-Heuser, D. Bradley, B. Eynard, T. Tomiyama, and S. Achiche, "Design, modelling, simulation and integration of cyber physical systems: Methods and applications," *Computers in Industry*, vol. 82, pp. 273–289, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.05.006>
- [38] Z. Xu, Y. Zhang, H. Li, W. Yang, and Q. Qi, "Dynamic resource provisioning for cyber-physical systems in cloud-fog-edge computing," *Journal of Cloud Computing*, vol. 9, no. 1, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00181-y>
- [39] S. Wiesner, E. Marilungo, and K.-D. Thoben, "Cyber-physical product-service systems – challenges for requirements engineering," *International Journal of Automation Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 17–28, 2017. <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0017>
- [40] E. A. Lee, "Fundamental limits of cyber-physical systems modeling," *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, vol. 1, no. 1, 2017. <https://doi.org/10.1145/2912149>
- [41] A. K. Tyagi and N. Sreenath, "Cyber Physical Systems: Analyses, challenges and possible solutions," *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 1, pp. 22–33, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2021.12.002>
- [42] M. Schiefer, "Smart Home Definition and Security Threats," in *Proceedings - 9th International Conference on IT Security Incident Management and IT Forensics, IMF 2015*, M. H. and D. J., Eds., AV-TEST GmbH, Magdeburg, Germany: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015, pp. 114–118. <https://doi.org/10.1109/IMF.2015.17>
- [43] Y. Strengers, *Smart energy technologies in everyday life: Smart Utopia?* Springer, 2013.
- [44] J. Bugeja, A. Jacobsson, and P. Davidsson, "On Privacy and Security Challenges in Smart Connected Homes," in *2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)*, 2016, pp. 172–175. <https://doi.org/10.1109/EISIC.2016.044>
- [45] L. C. De Silva, C. Morikawa, and I. M. Petra, "State of the art of smart homes," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 25, no. 7, pp. 1313–1321, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.05.002>
- [46] S. J. Darby, "Smart technology in the home: time for more clarity," *Building Research & Information*, vol. 46, no. 1, pp. 140–147, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1301707>
- [47] M. Khan, B. N. Silva, and K. Han, "Internet of Things Based Energy Aware Smart Home Control System," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 7556–7566, 2016. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2621752>
- [48] D. J. Cook and S. K. Das, "How smart are our environments? An updated look at the state of the art," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 3, no. 2, pp. 53–73, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2006.12.001>

- [49] M. Amiribesheli, A. Benmansour, and A. Bouchachia, "A review of smart homes in healthcare," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 6, no. 4, pp. 495–517, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12652-015-0270-2>.
- [50] J. M. Batalla, A. Vasilakos, and M. Gajewski, "Secure Smart Homes: Opportunities and challenges," *ACM Computing Surveys*, vol. 50, no. 5, 2017. <https://doi.org/10.1145/3122816>
- [51] S. Solaimani, W. Keijzer-Broers, and H. Bouwman, "What we do - And don't - Know about the Smart Home: An analysis of the Smart Home literature," *Indoor and Built Environment*, vol. 24, no. 3, pp. 370–383, 2015. <https://doi.org/10.1177/1420326X13516350>
- [52] R. Sabol, P. Fecilak, M. Michalko, and F. Jakab, "Smart home lighting control environment," in *ICETA 2023 - 21st Year of International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, Proceedings*, F. S., Ed., Košice, Department of Computers and Informatics, Slovakia: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 429–432. <https://doi.org/10.1109/ICETA61311.2023.10344082>
- [53] M. Tao, K. Ota, and M. Dong, "Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes," *Future Generation Computer Systems*, vol. 76, pp. 528–539, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.11.012>
- [54] R. K. Kodali, V. Jain, S. Bose, and L. Boppana, "IoT based smart security and home automation system," in *Proceeding - IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2016*, S. A., S. M., A. P.N., and S. V., Eds., Department of Electronics and Communications Engineering, National Institute of Technology, Warangal, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 1286–1289. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2016.7813916>
- [55] Y. Iliev and G. Ilieva, "A Framework for Smart Home System with Voice Control Using NLP Methods," *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 1, Jan. 2023. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS12010116>
- [56] W. Li, T. Logenthiran, V. Phan, and W. L. Woo, "Implemented IoT-Based Self-Learning Home Management System (SHMS) for Singapore," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 2212–2219, 2018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2828144>
- [57] R. Wathsala, M. Silva, R. Kodikara, S. Ekanayake, N. Gamage, and P. Gunathilake, "Towards a Smart Home: An Intelligent Approach to Environment Monitoring and Anti-Theft Alarming," in *Proceedings of 2023 12th International Conference on Awareness Science and Technology, iCAST 2023*, Department of Computer Systems Engineering, Sri Lanka Institute of Information Technology (SLIIT), Malabe, Sri Lanka: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 253–258. <https://doi.org/10.1109/iCAST57874.2023.10359322>
- [58] R. S. Ransing and M. Rajput, "Smart home for elderly care, based on Wireless Sensor Network," in *2015 International Conference on Nascent Technologies in the Engineering Field (ICNTE)*, 2015, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICNTE.2015.7029932>
- [59] S. Mayer, R. Verborgh, M. Kovatsch, and F. Mattern, "Smart Configuration of Smart Environments," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 1247–1255, 2016. <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2533321>
- [60] N. Castelli, C. Ogonowski, T. Jakobi, M. Stein, G. Stevens, and V. Wulf, "What happened in my home?: An end-user development approach for smart home data visualization," in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Bonn-Rhein-Sieg University of Applied Science, Sankt Augustin, Germany: Association for Computing Machinery, 2017, pp. 853–866. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025485>
- [61] M. Khan, S. Din, S. Jabbar, M. Gohar, H. Ghayvat, and S. C. Mukhopadhyay, "Context-aware low power intelligent SmartHome based on the Internet of things," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 52, pp. 208–222, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.04.014>
- [62] I. Mashal, A. Shuhaiber, and A. W. Al-Khatib, "User acceptance and adoption of smart homes: A decade long systematic literature review," *International Journal of Data and Network Science*, vol. 7, no. 2, pp. 533–552, 2023. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2023.3.017>
- [63] Y. Mittal, P. Toshniwal, S. Sharma, D. Singhal, R. Gupta, and V. K. Mittal, "A voice-controlled multi-functional Smart Home Automation System," in *12th IEEE International Conference Electronics, Energy, Environment, Communication, Computer, Control: (E3-C3), INDICON 2015*, Jaypee University of Information Technology, Solan, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2015.7443538>
- [64] I. Đuric, D. Barac, Z. Bogdanovic, A. Labus, and B. Radenkovic, "Model of an intelligent smart home system based on ambient intelligence and user profiling," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 14, no. 5, pp. 5137–5149, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03081-4>
- [65] S. K. Hiremath and T. Plötz, "The Lifespan of Human Activity Recognition Systems for Smart Homes," *Sensors*, vol. 23, no. 18, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23187729>
- [66] A. Dorri, S. S. Kanhere, R. Jurdak, and P. Gauravaram, "Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home," in *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, 2017, pp. 618–623. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2017.7917634>
- [67] A. Bissoli, D. Lavino-Junior, M. Sime, L. Encarnaçao, and T. Bastos-Filho, "A human-machine interface based on eye tracking for controlling and monitoring a smart home using the internet of things," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 4, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19040859>
- [68] R. H. Jensen, Y. Strengers, J. Kjeldskov, L. Nicholls, and M. B. Skov, "Designing the desirable smart home: A study of household experiences and energy consumption impacts," in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Human-Centred Computing, Department of Computer Science, Aalborg University, Denmark: Association for Computing Machinery, 2018. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173578>
- [69] H. Kong, L. Lu, J. Yu, Y. Chen, and F. Tang, "Continuous Authentication through Finger Gesture Interaction for Smart Homes Using WiFi," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 20, no. 11, pp. 3148–3162, 2021. <https://doi.org/10.1109/TMC.2020.2994955>

- [70] A. A. Zaidan *et al.*, "A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes," *Telecommunication Systems*, vol. 69, no. 1, pp. 1–25, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11235-018-0430-8>
- [71] P. K. Malik, M. K. Shukla, K. R. Chythanya, N. Bisht, R. Roges, and A. Gehlot, "Intervention of Internet of Things in Home Automation Applications," in *2023 3rd International Conference on Advancement in Electronics and Communication Engineering, AECE 2023*, School of Electronics and Electrical Engineering, Lovely Professional University, Punjab, Jalandhar, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 201–205. <https://doi.org/10.1109/AECE59614.2023.10428275>
- [72] S. Marksteiner, V. J. E. Jimenez, H. Valiant, and H. Zeiner, "An overview of wireless IoT protocol security in the smart home domain," in *Joint 13th CTTE and 10th CMI Conference on Internet of Things - Business Models, Users, and Networks*, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft MbH, DIGITAL - Institute for Information and Communication Technologies, Graz, Austria: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1109/CTTE.2017.8260940>
- [73] F. Liu, Y. Wang, H. Xin, Y. Zhao, Z. Han, and T. Hou, "Scorpion-inspired bionic gait activity location and recognition smart home system," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 205, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110843>
- [74] F. AlFaris, A. Juaidi, and F. Manzano-Agugliaro, "Intelligent homes' technologies to optimize the energy performance for the net zero energy home," *Energy and Buildings*, vol. 153, pp. 262–274, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.089>
- [75] L. L. Motta *et al.*, "General Overview and Proof of Concept of a Smart Home Energy Management System Architecture," 2023. <https://doi.org/10.3390/electronics12214453>
- [76] B. Haupt, C. Pentzold, A. Becker, and A. Berger, "Designing alternative future home stories," in *Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings - Series of the Gesellschaft fur Informatik (GI)*, K. M., A.-L.-K.-S. 2 Gesellschaft fur Informatik Berlin, K. D., A.-L.-K.-S. 2 Gesellschaft fur Informatik Berlin, W. C., A. 45 Gesellschaft fur Informatik Bonn, and W. V., Eds., Leipzig University, Department for Communication and Media Studies, Nikolaistraße 27-29, Leipzig, 04109, Germany: Gesellschaft fur Informatik (GI), 2023, pp. 895–900.
- [77] D. Bouchabou, J. Grosset, S. M. Nguyen, C. Lohr, and X. Puig, "A Smart Home Digital Twin to Support the Recognition of Activities of Daily Living," *Sensors*, vol. 23, no. 17, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23177586>
- [78] M. U. Shoukat, L. Yan, J. Zhang, Y. Cheng, M. U. Raza, and A. Niaz, "Smart home for enhanced healthcare: exploring human machine interface oriented digital twin model," *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1–19, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1007/S11042-023-16875-9/FIGURES/9>
- [79] A. A. Nazarenko and L. M. Camarinha-Matos, "The Role of Digital Twins in Collaborative Cyber-Physical Systems," in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, C.-M. L.M., F. N., L. F., and P. H., Eds., Faculty of Sciences and Technology, UNINOVA-CTS, Nova University of Lisbon, Monte Caparica, 2829-516, Portugal: Springer, 2020, pp. 191–205. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45124-0_18
- [80] V. Padmapriya and M. Srivenkatesh, "IoT Network based Cyber Attack Mitigation in Digital Twin with Multi Level Key Management Using Enhanced KNN Model," *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, vol. 12, no. 14s, pp. 49–62, 2024.
- [81] T. Saha, N. Aaraj, N. Ajarapu, and N. K. Jha, "SHARKS: Smart Hacking Approaches for Risk Scanning in Internet-of-Things and Cyber-Physical Systems Based on Machine Learning," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 10, no. 2, pp. 870–885, 2022. <https://doi.org/10.1109/TETC.2021.3050733>
- [82] R. Verma, "Smart City Healthcare Cyber Physical System: Characteristics, Technologies and Challenges," *Wireless Personal Communications*, vol. 122, no. 2, pp. 1413–1433, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08955-6>
- [83] E. Casella, A. R. Khamesi, S. Silvestri, D. A. Baker, and S. K. Das, "HVAC Power Conservation through Reverse Auctions and Machine Learning," in *2022 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom 2022*, University of Kentucky, Department of Computer Science, Lexington, KY, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 89–100. <https://doi.org/10.1109/PerCom53586.2022.9762402>
- [84] S. Khan, T. Arslan, and T. Ratnarajah, "Digital Twin Perspective of Fourth Industrial and Healthcare Revolution," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 25732–25754, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3156062>
- [85] M. Kuller, F. Kohlmorgen, N. Karaoglan, M. Niemeyer, I. Kunold, and H. Wöhrle, "Conceptual design of a digital twin based on semantic web technologies in the smart home context," in *CANDO-EPE 2020 - Proceedings, IEEE 3rd International Conference and Workshop in Obuda on Electrical and Power Engineering*, Dortmund University of Applied, Sciences Institute of Communication Technology, Dortmund, Germany: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020, pp. 167–172. <https://doi.org/10.1109/CANDO-EPE51100.2020.9337749>
- [86] Y. Dong, F. Dai, and M. Qin, "A Privacy-Preserving Deep Learning Scheme for Edge-enhanced Smart Homes," in *Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, International Conference on Cloud and Big Data Computing, International Conference on Cy, F. G., G. R., G. A., and S. C., Eds.*, Southwest Forestry University, School of Big Data and Intelligent Engineering, Kunming, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. <https://doi.org/10.1109/DASC/PiCom/CBDCCom/Cy55231.2022.9928002>
- [87] K. C. Okafor and O. M. Longe, "ASM-ROBOT: A Cyber-Physical Home Automation Controller with Memristive Reconfigurable State Machine," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, no. 1, pp. 896–912, 2022. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.01301103>
- [88] R. Seiger, S. Huber, P. Heisig, and U. Alßmann, "Toward a framework for self-adaptive workflows in cyber-physical systems," *Software and Systems Modeling*, vol. 18, no. 2, pp. 1117–1134, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10270-017-0639-0>

- [89] G. Dine and O. K. Sahingoz, "Smart Home Security with the use of WSNs on Future Intelligent Cities," in *7th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair, ICSG 2019 - Proceedings*, C. A., Ed., Computer Engineering Department, Istanbul Kultur University, Istanbul, 34158, Turkey: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, pp. 164–168. <https://doi.org/10.1109/SGCF.2019.8782396>
- [90] J. C. S. Sicato, P. K. Sharma, V. Loia, and J. H. Park, "Vpnfilter malware analysis on cyber threat in smart home network," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 13, 2019. <https://doi.org/10.3390/APP9132763>
- [91] L. Linkous, N. Zohrabi, and S. Abdelwahed, "Health Monitoring in Smart Homes Utilizing Internet of Things," in *Proceedings - 4th IEEE/ACM Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies, CHASE 2019*, Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Commonwealth University, Richmond, 23220, VA, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, pp. 29–34. <https://doi.org/10.1109/CHASE48038.2019.00020>
- [92] Y. Meng, S. Li, Y. Zhang, H. Zhu, and X. Zhang, "Cyber Physical System Security of Smart Home Platform," *Jisuanji Yanjiu yu Fazhan/Computer Research and Development*, vol. 56, no. 11, pp. 2349–2364, 2019. <https://doi.org/10.7544/issn1000-1239.2019.20190412>
- [93] S. Dutta, S. S. L. Chukkapalli, M. Sulgekar, S. Krithivasan, P. K. Das, and A. Joshi, "Context Sensitive Access Control in Smart Home Environments," in *Proceedings - 2020 IEEE 6th Intl Conference on Big Data Security on Cloud, BigDataSecurity 2020, 2020 IEEE Intl Conference on High Performance and Smart Computing, HPSC 2020 and 2020 IEEE Intl Conference on Intelligent Data and Security, IDS 2020*, University of Maryland, Baltimore County, Baltimore, MD, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020, pp. 35–41. <https://doi.org/10.1109/BigDataSecurity-HPSC-IDS49724.2020.00018>
- [94] S. Colnar, V. Dimovski, B. Grah, V. Rogelj, and D. Bogataj, "Smart Home Supporting Integrated Health and Care Services for Older Adults in the Community: Literature review and research agenda," in *2020 24th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2020 - Proceedings*, B. L.-F., Ed., University of Ljubljana, School of Economics and Business, Ljubljana, Slovenia: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020, pp. 526–531. <https://doi.org/10.1109/ICSTCC50638.2020.9259711>
- [95] D. Hodges, "Cyber-enabled burglary of smart homes," *Computers and Security*, vol. 110, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102418>
- [96] A. Lakhan, T. Groenli, G. Muhammad, and P. Tiwari, "Evolutionary Meta-Heuristic Offloading and Scheduling Schemes Enabled Industrial Cyber-Physical System," *IEEE Systems Journal*, pp. 1–10, 2024. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2023.3347523>
- [97] S. A. Latif et al., "AI-empowered, blockchain and SDN integrated security architecture for IoT network of cyber physical systems," *Computer Communications*, vol. 181, pp. 274–283, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.09.029>
- [98] B. Ravisankar, V. Gowrishankar, P. Dharani, M. Dharshini, S. Swetha Nachiyar, and T. Kesavan, "IoT Based Water Quality Monitoring System for Residential Application," in *3rd International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials: ICAPSM 2022*, S. H., T. P., and M. S. K., Eds., Department of Electrical and Electronics Engineering, Kongu Engineering College, Perundurai, Erode, India: American Institute of Physics Inc., 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0178810>
- [99] A. Verma, A. K. Singh, A. K. Pathak, and G. Saini, "Real-Time Smart Water Management System (SWMS) for Smart Home," in *Lecture Notes in Civil Engineering*, N. N., M. Y., Y. B.K., B. A., and K. M., Eds., Department of Civil Engineering, Netaji Subhas University of Technology, New Delhi, India: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024, pp. 129–137. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2905-4_10
- [100] S. Sun and K. Vega, "CirCAT: Cat Centered Smart Home System and Veterinary Complementary Devices," in *ACM International Conference Proceeding Series*, University of California, Davis, United States: Association for Computing Machinery, 2023. <https://doi.org/10.1145/3637882.3637901>
- [101] H. Zhou, "Design and Implementation of Smart Home Temperature Control System," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, W. K. and V. M., Eds., School of Electronic Information Engineering, Ningxia Institute of Science and Technology, Ningxia, China: SPIE, 2023. <https://doi.org/10.1117/12.3010641>
- [102] J. Zhu, F. Lauri, A. Koukam, V. Hilaire, Y. Lin, and Y. Liu, "A hybrid intelligent control based cyber-physical system for thermal comfort in smart homes," *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 30, no. 4, pp. 199–214, 2019. <https://doi.org/10.1504/ijahuc.2019.098863>
- [103] M. Quamara, B. B. Gupta, and S. Yamaguchi, "MQTT-driven remote temperature monitoring system for IoT-based smart homes," in *2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2019*, National Institute of Technology, Kurukshetra, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, pp. 968–970. <https://doi.org/10.1109/GCCE46687.2019.9015603>
- [104] P. K. Goyal, S. Verma, and M. Giri, "A Firebase-Based Smart Home Automation System Using IoT," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, S. R.N., S. P., M. S., G. A., and S. S.L., Eds., Delhi Skill and Entrepreneurship University, Delhi, India: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024, pp. 229–237. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8661-3_17
- [105] M. Wang, H. Ma, Y. Wang, and X. Sun, "Design of smart home system speech emotion recognition model based on ensemble deep learning and feature fusion," *Applied Acoustics*, vol. 218, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2024.109886>
- [106] A. Abd-Elsalam, N. H. El-Amari, R. A. Swief, and E. Beshr, "Smart Home Energy Management Based on Renewable Energy Resources," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 38, no. 1, pp. 177–191, 2024. <https://doi.org/10.37934/araset.38.1.177191>

- [107] S. Madhunala, M. Beerla, and A. Y. Peddemoni, "IoT based Load Controlling and Energy Monitoring Smart Home System," in *AIP Conference Proceedings*, R. J.V.R., K. G.A.E.S., and J. M.A., Eds., Department of ECE, Vardhaman College of Engineering, Shamshabad, Hyderabad, India: American Institute of Physics, 2024. <https://doi.org/10.1063/5.0198425>
- [108] Y. Huang, "Smart home system using blockchain technology in green lighting environment in rural areas," *Heliyon*, vol. 10, no. 4, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26620>
- [109] J. Wang, "A Smart Lighting System Based on Digital Twin Technology in Smart Home," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, C. C. and Z. X., Eds., Electronic Information Science and Technology, Northwest University, Shaanxi, Xi'an, China: SPIE, 2024. <https://doi.org/10.1117/12.3021357>
- [110] H. Maghfiroh et al., "SMART HOME SYSTEM WITH BATTERY BACKUP AND INTERNET OF THINGS," *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, vol. 5, no. 1, pp. 42–57, 2023. <https://doi.org/10.37385/jaets.v5i1.1969>
- [111] G. Kumar, L. Kumar, and S. Kumar, "Multi-objective control-based home energy management system with smart energy meter," *Electrical Engineering*, vol. 105, no. 4, pp. 2095–2105, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00202-023-01790-x>
- [112] C. Irugalbandara, A. S. Naseem, S. Perera, S. Kiruthikan, and V. Logeeshan, "A Secure and Smart Home Automation System with Speech Recognition and Power Measurement Capabilities †," *Sensors*, vol. 23, no. 13, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23135784>
- [113] M. Devi, S. Muralidharan, R. Elakiya, and M. Monica, "Design and Implementation of a Smart Home Energy Management System Using IoT and Machine Learning," in *E3S Web of Conferences*, M. B.V., Ed., New Prince Shri Bhavani College of Engineering and Technology, AICTE, India: EDP Sciences, 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338704005>
- [114] C. Xue, Y. Gao, A. Robin, J. Du, Q. Xu, and X. Fu, "Meta-Home: Smart Home Digital Twin Design from the Perspective of Smart Metaverse," in *11th International Symposium of Chinese CHI, Chinese CHI 2023*, Academy of Arts & Design, Tsinghua University Beijing, Beijing, China: Association for Computing Machinery, 2023, pp. 309–320. <https://doi.org/10.1145/3629606.3629635>
- [115] L. Arrotta, C. Bettini, and G. Civitaresse, "MICAR: multi-inhabitant context-aware activity recognition in home environments," *Distributed and Parallel Databases*, vol. 41, no. 4, pp. 571–602, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10619-022-07403-z>
- [116] H. Wicaksono, P. Santoso, I. Sugiarto, D. Kristiyono, and J. A. Wijaya, "Application of smart home and smartwatch to assist elders in home care scenario," in *4th International Conference on Industrial, Enterprise, and System Engineering: Collaboration of Science, Technology, and Innovation Toward Sustainable Development, ICoIESE 2021*, S. N.I., S. S.A., D. F., C. D., D. M., R. D., W. F.D., B. D.Y., W. F.R., and R. G.D., Eds., Electrical Engineering Department, Petra Christian University, Jl. Siwalankerto 121 131, Surabaya, Indonesia: American Institute of Physics Inc., 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0118744>
- [117] H. Wicaksono, P. Santoso, I. Sugiarto, and F. Dwipanjung, "Voice-controlled smart home prototype to assist an elder in home care," in *4th International Conference on Industrial, Enterprise, and System Engineering: Collaboration of Science, Technology, and Innovation Toward Sustainable Development, ICoIESE 2021*, S. N.I., S. S.A., D. F., C. D., D. M., R. D., W. F.D., B. D.Y., W. F.R., and R. G.D., Eds., Electrical Engineering Department, Petra Christian University, Jl. Siwalankerto 121 131, Surabaya, Indonesia: American Institute of Physics Inc., 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0118743>
- [118] R. Kumar and P. R. Verma, "Home automation, monitoring and control system using Arduino IoT cloud server," in *AIP Conference Proceedings*, S. R. and G. A., Eds., Department of Electrical & Electronics and Communication, Himgiri Zee University, Uttarakhand, Dehradun, India: American Institute of Physics Inc., 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0152358>
- [119] C. Qin, A. Song, L. Wei, and Y. Zhao, "A multimodal domestic service robot interaction system for people with declined abilities to express themselves," *Intelligent Service Robotics*, vol. 16, no. 3, pp. 373–392, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11370-023-00466-6>
- [120] A. Flamini, L. Ciurluini, R. Loggia, A. Massaccesi, C. Moscattello, and L. Martirano, "A Prototype of Low-Cost Home Automation System for Energy Savings and Living Comfort," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 59, no. 4, pp. 4931–4941, 2023. <https://doi.org/10.1109/TIA.2023.3271618>
- [121] K. Naik and S. Patel, "An open source smart home management system based on IOT," *Wireless Networks*, vol. 29, no. 3, pp. 989–995, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1884-z>
- [122] R. Raj and N. Rai, "Voice controlled cyber-physical system for smart home," in *ACM International Conference Proceeding Series*, Indian Institute of Information Technology, Allahabad, Allahabad, Uttar Pradesh, India: Association for Computing Machinery, 2018. <https://doi.org/10.1145/3170521.3170550>
- [123] J. Criado, J. A. Asensio, N. Padilla, and L. Iribarne, "Integrating cyber-physical systems in a component-based approach for smart homes," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 7, 2018. <https://doi.org/10.3390/s18072156>
- [124] B. Mustafa, M. W. Iqbal, M. Saeed, A. R. Shafqat, H. Sajjad, and M. R. Naqvi, "IOT Based Low-Cost Smart Home Automation System," in *HORA 2021 - 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications, Proceedings*, The Superior College, Department of Software Engineering, Lahore, Pakistan: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. <https://doi.org/10.1109/HORA52670.2021.9461276>
- [125] S. A. Ajagbe, O. A. Adeaga, O. O. Alabi, A. B. Ikotun, M. A. Akintunde, and M. O. Adigun, "Design and development of arduino-based automation home system using the internet of things," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 33, no. 2, pp. 767–776, 2024. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i2.pp767-776>
- [126] A. Pilotto et al., "The PRO-HOME Project. A multicomponent intervention for the protected discharge from the hospital of multimorbid and polytreated older individuals by using innovative technologies: A pilot study," *Health Expectations*, vol. 27, no. 1, 2024. <https://doi.org/10.1111/hex.13872>

- [127] F. Demrozi, C. Turetta, and G. Pravadelli, "SHPIA 2.0: An Easily Scalable, Low-Cost, Multi-purpose Smart Home Platform for Intelligent Applications," *SN Computer Science*, vol. 5, no. 1, 2024. <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02307-w>
- [128] D. Durgam and S. Talluri, "Design of multifunctional Android-Based smart home control and monitoring system using Raspberry Pi," in *AIP Conference Proceedings*, S. K. G.A.E., R. J.V.R., and J. M.A., Eds., Department of Electronics and Communication Engineering, G. Narayanamma Institute of Technology and Science, Hyderabad, 500104, India: American Institute of Physics Inc., 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0074133>
- [129] A. Daoudi, A. Idrissi, M. A. Bekri, and S. Ouabou, "Implementation and Management of a Home Automation Control System (Smart Home)," in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 1102, IPSS Team, Artificial Intelligence and Data Science Group, Computer Science Department, Faculty of Science, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2023, pp. 233–243. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33309-5_19
- [130] R. K. Kodali, S. C. Rajanarayanan, L. Boppana, S. Sharma, and A. Kumar, "Low cost smart home automation system using smart phone," in *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, R10-HTC*, National Institute of Technology, Department of Electronics and Communication Engineering, Warangal, 506004, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. <https://doi.org/10.1109/R10-HTC47129.2019.9042467>
- [131] A. Rai, M. Rai, N. Jogi, B. Rai, S. Rai, and D. Rasaily, "Low Cost Laser Light Security System in Smart Home," in *2019 International Conference on Innovative Sustainable Computational Technologies, CISCT 2019*, CCCT Ploytechnic, Namchi, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. <https://doi.org/10.1109/CISCT46613.2019.9008141>
- [132] M.-C. Yuen, S. Y. Chu, W. H. Chu, H. S. Cheng, H. L. Ng, and S. P. Yuen, "A low-cost IoT smart home system," *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, vol. 7, no. 4, pp. 3143–3147, 2018. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.18862>
- [133] S. Gunpath, A. P. Murdan, and V. Oree, "Design and implementation of a low-cost Arduino-based smart home system," in *2017 9th IEEE International Conference on Communication Software and Networks, ICCSN 2017*, Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, University of Mauritius, Reduit, Mauritius: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 1491–1495. <https://doi.org/10.1109/ICCSN.2017.8230356>
- [134] J. Taylor et al., "SenseBox: A low-cost smart home system," in *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom Workshops 2017*, Department of Information Systems, University of Maryland Baltimore County, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 60–62. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2017.7917522>
- [135] N. Murugan, A. Sivathanu, K. Vaidyanathan, A. Tiwari, and A. Varma, "Automated home waste segregation and management system," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 13, no. 4, pp. 3903–3912, 2023. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3903-3912>
- [136] P. Ramasamy et al., "Design of Arduino UNO based smart irrigation system for real time applications," *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 105–110, 2024. <https://doi.org/10.11591/ijres.v13.i1.pp105-110>
- [137] D. Sowmya and R. Praveen Sam, "Low cost and PI based smart home garden watering system using IOT," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 7, no. 6, pp. 399–402, 2019.
- [138] Y. Ghoul and O. Naifar, "IoT based applications for healthcare and home automation," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 83, no. 10, pp. 29945–29967, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-16774-z>
- [139] M. Yan et al., "Smart Home Sleep Respiratory Monitoring System Based on a Breath-Responsive Covalent Organic Framework," *ACS Nano*, vol. 18, no. 1, pp. 728–737, 2024. <https://doi.org/10.1021/acsnano.3c09018>
- [140] M. Wasim Raed, I. Huseyinov, G. Ozdemir, I. Kotenko, and E. Fedorchenko, "An IoT-Based Smart Home for Elderly Suffering from Dementia," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, A. M.B., B. A.A., M. R.E., and K. I.R., Eds., Department of Computer Engineering, Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkey: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024, pp. 362–371. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53824-7_33
- [141] K. Stella, M. Menaka, R. Jeevitha, S. J. Jenila, A. Devi, and K. Vethapackiam, "Patient Pulse Rate and Oxygen Level Monitoring System Using IoT," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, J. P.P., A. M.S., and F.-G. P., Eds., Veltch Hightech Dr. Rangarajan Dr. Sakunthala Engineering College, Tamilnadu, Chennai, India: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024, pp. 343–355. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6586-1_23
- [142] M. Zelenskaya, S. Whittington, J. Lyons, A. Vogel, and J. Korte, "Visual-gestural Interface for Auslan Virtual Assistant," in *2023 SIGGRAPH Asia 2023 Emerging Technologies, SA Emerging Technologies 2023*, S. S.N., Ed., Griffith University, Brisbane, QLD, Australia: Association for Computing Machinery, Inc, 2023. <https://doi.org/10.1145/3610541.3614566>
- [143] S. P. Chatrati et al., "Smart home health monitoring system for predicting type 2 diabetes and hypertension," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 3, pp. 862–870, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.01.010>
- [144] T. Bhowmik, R. Mojumder, D. Ghosh, and I. Banerjee, "IoT Based Smart Home-Health Monitoring System Using Dempster-Shafer Evidence Theory For Pandemic Situation," in *Proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computing and Networking*, in ICDCN '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022, pp. 260–265. <https://doi.org/10.1145/3491003.3493232>
- [145] S. Sasipriya, R. Gurupriya, B. Ilakkiya, and J. S. Kaavya, "IOT enabled Smart home and health monitoring System," in *Proceedings of the 6th International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2021*, Sri Krishna College of Engineering and Technology, Department of Electronics and Communication Engineering, Coimbatore, India:

- Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 573–576. <https://doi.org/10.1109/ICCES51350.2021.9488984>
- [146] R. K. Nath and H. Thapliyal, "Wearable Health Monitoring System for Older Adults in a Smart Home Environment," in *Proceedings of IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI, ISVLSI*, University of Kentucky, Department of Electrical and Computer Engineering, Lexington, KY, United States: IEEE Computer Society, 2021, pp. 390–395. <https://doi.org/10.1109/ISVLSI51109.2021.00077>
- [147] N. Ainane, M. Ouzzif, and K. Bouragba, "Health monitoring system in a smart home," in *ACM International Conference Proceeding Series*, RITM Laboratory, ESTC, CED ENSEM, Hassan II University, Casablanca, Morocco: Association for Computing Machinery, 2019. <https://doi.org/10.1145/3368756.3369102>
- [148] K. Patil, M. Laad, A. Kamble, and S. Laad, "A consumer-based smart home and health monitoring system," *International Journal of Computer Applications in Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 45–54, 2018. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2018.094063>
- [149] H. Mshali, T. Lemlouma, and D. Magoni, "Adaptive monitoring system for e-health smart homes," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 43, pp. 1–19, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2017.11.001>
- [150] K. Guan, M. Shao, and S. Wu, "A remote health monitoring system for the elderly based on smart home gateway," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2017, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5843504>
- [151] D. J. Freitas, T. B. Marcondes, L. H. V. Nakamura, and R. I. Meneguette, "A health smart home system to report incidents for disabled people," in *Proceedings - IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2015*, Federal Institute of São Paulo (IFSP), Catanduva, São Paulo, Brazil: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015, pp. 210–211. <https://doi.org/10.1109/DCOSS.2015.28>
- [152] X. Wang and Y. Song, "Edge-Assisted IoMT-Based Smart-Home Monitoring System for the Elderly With Chronic Diseases," *IEEE Sensors Letters*, vol. 7, no. 2, 2023. <https://doi.org/10.1109/LSSENS.2023.3240670>
- [153] E. Muniyandy, C. Ramapriyan, and D. S. Prakash, "Cloud-based home safety system with emergency activation," in *2022 International Conference on Recent Advances in Industry 4.0 Technologies, ICRAIT 2022*, M. A., A. J.R., and B. M.V.A.R., Eds., Department of Biosciences, Saveetha School of Engineering, Chennai, India: American Institute of Physics Inc., 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0175627>
- [154] J. Lian, C. Du, J. Lou, L. Chen, and X. Yuan, "EchoSensor: Fine-grained Ultrasonic Sensing for Smart Home Intrusion Detection," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 20, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.1145/3615658>
- [155] P. Sarkhel and J. Chanda, "SecureHome: A Privacy Preserving Health Care Smart Home Systems," in *2021 8th International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security, IOTSMS 2021*, L. J.M., A.-M. M., J. Y., and B. E., Eds., B P Poddar Institute of Management and Technology, Kolkata, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. <https://doi.org/10.1109/IOTSMS53705.2021.9704945>
- [156] O. Omar, B. Sabti, A. Mehbodniya, A. Alwakeel, and A. Arafa, "Private home security and management system," in *2022 International Conference on Intelligent System, ICIS 2022*, K. R., S. K., P. S., and P. P.K., Eds., Kuwait College of Science and Technology, Doha, Kuwait: American Institute of Physics Inc., 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0170921>
- [157] J. Pacheco and K. Miranda, "Design of a low-cost NFC door lock for a smart home system," in *IEMTRONICS 2020 - International IOT, Electronics and Mechatronics Conference, Proceedings*, C. S., P. R., G. B., G. M., and P. S., Eds., Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Dept. Matemáticas Aplicadas y Sistemas, Cuajimalpa, Ciudad de México, Mexico: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. <https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216409>
- [158] R. C. Tripathi, H. Singh, and A. Chakravarty, "Smart home sensorized security system," in *AIP Conference Proceedings*, A. R., S. R., G. T.K., M. N.K., T. A., and A. null, Eds., Department of Computer Science Engineering, Teerthanker Mahaveer University, Uttar Pradesh, Moradabad, India: American Institute of Physics Inc., 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0125061>
- [159] M. R. Prathyusha and B. Bhowmik, "IoT-Enabled Smart Applications and Challenges," in *Proceedings of the 8th International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2023*, National Institute of Technology Karnataka, Brics Laboratory, Department of Computer Science and Engineering, Mangalore, 575025, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 354–360. <https://doi.org/10.1109/ICCES57224.2023.10192597>
- [160] B. Rudra and S. Thanmayee, "Cyber-Physical Systems: Historical Evolution and Role in Future Autonomous Transportation," in *Internet of Things*, National Institute of Technology Karnataka, Mangaluru, India: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 113–127. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92054-8_7
- [161] K. Prasad et al., "Analysis of Cross-Domain Security and Privacy Aspects of Cyber-Physical Systems," *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 29, no. 4, pp. 454–479, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10776-022-00559-6>
- [162] C. Rodríguez-Gallego, F. Díez-Muñoz, M.-L. Martín-Ruiz, A.-M. Gabaldón, M. Dolón-Poza, and I. Pau, "A collaborative semantic framework based on activities for the development of applications in Smart Home living labs," *Future Generation Computer Systems*, vol. 140, pp. 450–465, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.10.027>
- [163] A. Habbal, M. K. Ali, and M. A. Abuzaraida, "Artificial Intelligence Trust, Risk and Security Management (AI TRiSM): Frameworks, applications, challenges and future research directions," *Expert Systems with Applications*, vol. 240, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122442>
- [164] J. I. I. Araya and H. Rifà-Pous, "Anomaly-based cyberattacks detection for smart homes: A systematic literature review," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 22, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100792>
- [165] K. Cao, S. Hu, Y. Shi, A. W. Colombo, S. Karnouskos, and X. Li, "A Survey on Edge and Edge-Cloud Computing Assisted Cyber-Physical Systems," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 11, pp. 7806–7819, 2021. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3073066>
- [166] E. McMahon, M. Patton, S. Samtani, and H. Chen, "Benchmarking vulnerability assessment tools for enhanced cyber-physical system (CPS) Resiliency," in *2018 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics, ISI 2018*,

- L. D., M. G., K. P., and S. N., Eds., *Management Information Systems*, University of Arizona, Tucson, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018, pp. 100–105. <https://doi.org/10.1109/ISL.2018.8587353>
- [167] S. Pazouki, N. A. Golilarz, S. M. Kazemi-Razi, and A. Aydeger, "A self-healing cybersecurity mechanism for cyberattacks targeting artificial neural network-based human brain implants controlling smart homes," in *International Conference on Electrical, Computer, and Energy Technologies, ICECET 2022*, Southern Illinois University, School of Electrical Computer and Biomedical Engineering, Carbondale, IL, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. <https://doi.org/10.1109/ICECET55527.2022.9872885>
- [168] Y. Liu, Y. Zhou, and S. Hu, "Combating Coordinated Pricing Cyberattack and Energy Theft in Smart Home Cyber-Physical Systems," *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, vol. 37, no. 3, pp. 573–586, 2018. <https://doi.org/10.1109/TCAD.2017.2717781>
- [169] A. Raza, L. Jingzhao, Y. Ghadi, M. Adnan, and M. Ali, "Smart home energy management systems: Research challenges and survey," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 92, pp. 117–170, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.02.033>
- [170] Y. Zhou, F. R. Yu, J. Chen, and Y. Kuo, "Cyber-Physical-Social Systems: A State-of-the-Art Survey, Challenges and Opportunities," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 389–425, 2020. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2959013>
- [171] S. Terreno, A. Akanmu, C. J. Anumba, and J. Olayiwola, "Cyber-Physical Social Systems for Facility Management," in *Cyber-Physical Systems in the Built Environment*, Pennsylvania State University, State College, PA, United States: Springer International Publishing, 2020, pp. 297–308. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41560-0_16
- [172] M. Doctorarastoo, K. Flanigan, M. Bergés, and C. McComb, "Exploring the Potentials and Challenges of Cyber-Physical-Social Infrastructure Systems for Achieving Human-Centered Objectives," in *BuildSys 2023 - Proceedings of the 10th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, United States: Association for Computing Machinery, Inc, 2023, pp. 385–389. <https://doi.org/10.1145/3600100.3626340>



**INTERNATIONAL JOURNAL OF
COMPUTATIONAL INNOVATIONS,
INTELLIGENT SYSTEMS AND AI**

CISAI

Volumen 2, Número 1, Enero- Junio 2026

<http://doi.org/10.64439/cisai.v2i1>

ISSN: 3084-7907 (En línea)

DIRECTOR:

DR. OSCAR PEÑA CÁCERES

URB. RINCONADA DEL SOL MZ E LT 4, PIURA - PERÚ

cisai@cisai.com.pe



www.cisai.com.pe