

La tecnología al servicio de la humanidad

RICT

Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

ISSN 2992-7315

Año 4 No. 7 Enero-Junio 2026

Edición Semestral volumen 4, número 7, Enero-Junio 2026

Investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación multidisciplinaria con impacto social para el desarrollo y la generación de soluciones a los problemas prioritarios en salud, medio ambiente, seguridad, educación y bienestar en las organizaciones, la industria, la academia y la sociedad en general.



ISSN 2992-7315



9 772992 731002



DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Publicación Semestral RICT Vol. 4 No. 7 (2026)



ISSN: 2992-7315

Volumen 4 – No. 7 – 2026

Semestral

ISSN: 2992-7315

Investigación Multidisciplinaria

Investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación multidisciplinaria con impacto social para el desarrollo y la generación de soluciones a los problemas en áreas clave como la salud, el medio ambiente, la seguridad, la educación y el bienestar en beneficio de las organizaciones, la industria, la academia y en última instancia a la sociedad en general.

Comité Editorial

Leonardo Miguel Moreno Villalba

Editor en jefe

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

lmoreno@tese.edu.mx

Francisco Jacob Ávila Camacho

Editor asociado

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

fjacobavila@tese.edu.mx

Juan Manuel Stein Carrillo

Investigador

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

jmsteinc@tese.edu.mx

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación, año 4, No. Regular 7, Junio 2026, es una Publicación semestral, indexada y arbitrada a doble ciego editada por Leonardo Miguel Moreno Villalba. Av. Valle de Guadiana 59, Col. Valle de Aragón 3ª Sección, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55280, Tel. (+52) 720 460 0897, <https://rictrevista.org>, rict.revista@gmail.com. Editor responsable: Leonardo Miguel Moreno Villalba. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-072413552000-102, ISSN: 2992-7315, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número Leonardo Miguel Moreno Villalba, Av. Valle de Guadiana 59, Col. Valle de Aragón 3ª Sección, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55280, fecha de última modificación 10 de junio de 2026.



DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Publicación Semestral RICT Vol. 4 No. 7 (2026)



ISSN: 2992-7315

Directorio

Leonardo Miguel Moreno Villalba

Editor en Jefe (Editor-in-Chief)

<https://orcid.org/0000-0003-0937-3586>

Francisco Jacob Ávila Camacho

Editor Asociado (Associate Editor)

<https://orcid.org/0000-0002-0086-5827>

Consejo Editorial (Editorial Board)

Dr. Adolfo Melendez Ramírez

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

<https://orcid.org/0000-0002-4751-0089>

Dr. Genaro Iván Cerón Montes

Universidad Tecnológica de Tecamac

<https://orcid.org/0000-0002-1111-0307>

Dr. Juan Manuel Stein Carrillo

Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

<https://orcid.org/0000-0003-3594-504X>

Dr. José Alberto Hernández Aguilar

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

<https://orcid.org/0000-0002-5184-0005>

Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro

Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacan

<https://orcid.org/0000-0003-3058-9082>

M. en ISC. Roberto Carlos Muñoz Celaya

Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

Dra. Hilda María Torres Rodríguez

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

<https://orcid.org/0009-0003-8671-4919>

Dra. Mariana Zuleima Perez González

Estancias Postdoctorales por México, SECITHI, Ciudad de México

<https://orcid.org/0000-0003-4662-2449>

Comité Técnico Revisor (Reviewer Board)

Dr Hugo Nathanael Lara Figueroa

Colegio de Pachuca

Dra. Rosa Elia Martínez Torres

Instituto Tecnológico de San Luis Potosí

Dr Jesús de la Cruz Alejo

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec



DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Publicación Semestral RICT Vol. 4 No. 7 (2026)



ISSN: 2992-7315

Dr Juan Manuel Stein Carrillo

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Abraham Jorge Jiménez Alfaro

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. María de la Luz Delgadillo Torres

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. Blanca Gabriela Cuevas González

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Mtro. Luis Enrique Vivanco Benavides

Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

Dra. Claudia Teresa González Ramírez

Tecnológico Nacional de México campus Zitácuaro

M. en C. Edgar Corona Organiche

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. Mercedes Flores Flores

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. Adolfo Meléndez Ramírez

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Javier Norberto Gutiérrez Villegas

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Leonardo Miguel Moreno Villalba

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dra. Griselda Cortes Barrera

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Emmanuel Tonatihu Juárez Velázquez

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec

Dr. Carlos Alfonso Trejo Villanueva

Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec



DESDE 2023

<https://rictrevista.org>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación



Publicación Semestral RICT Vol. 4 No. 7 (2026)

ISSN: 2992-7315

Contenido

Editorial i

Artículos de Investigación

- 1. Diseño y validación psicométrico de un instrumento de la realidad virtual en el turismo.**
RICHARD CALLAN BACILIO, DENILSON STEV CAMPOS GONZALES, BRYAN MIGUEL MENDOZA VASQUEZ, ALDAIR JORGINHO AGUSTIN HURTADO 1
- 2. Síntesis directa de un nuevo tensoactivo tipo Gemini basado en polidimetilsiloxano.**
Vanessa Martínez Cornejo, Salvador López Morales, Gerardo Cedillo Valverde 9
- 3. Análisis Cluster para detectar patrones específicos entre usuarios de la banca de seguros para identificar posibles fraudes.**
Abraham Jorge Jiménez Alfaro, Norma Karen Valencia Vázquez , Griselda Cortés Barrera, Edgar Corona Organiche..... 16
- 4. Análisis para la implementación de un sistema de soporte técnico automatizado basado en LLM y Docker.**
AMAURY CASTILLO CRUZ, Emmanuel Tonatihu Juarez Velázquez 23
- 5. Cypress en la Capacitación Universitaria para Testing web.**
Israel Antonio Marín Castañeda..... 29

Editorial del número regular: volumen 3 número 6 Editorial of the regular issue: volume 3 number 6

Francisco Jacob Ávila Camacho 

^a División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México / TES Ecatepec, 55210, Ecatepec, Estado de México, México.

1. Apreciables lectores de RICT

Con profunda satisfacción presentamos el Volumen 4, Número 7 de la Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación (RICT). Esta edición reúne cinco contribuciones originales que abarcan un amplio espectro disciplinar: desde la psicometría aplicada al turismo y la síntesis de nuevos materiales tensoactivos, hasta la detección de fraudes mediante aprendizaje automático, la automatización de soporte técnico con modelos de lenguaje de gran escala y la formación universitaria en pruebas de software. La diversidad temática de esta entrega refleja el compromiso de RICT con la difusión del conocimiento científico riguroso y relevante para los retos contemporáneos.

El primer artículo de investigación, titulado "Diseño y validación psicométrica de un instrumento de la realidad virtual en el turismo", de autoría de Richard Callan Bacilio, Denilson Stev Campos Gonzales, Bryan Miguel Mendoza Vasquez y Aldair Jorginho Agustin Hurtado, aborda la construcción y evaluación de un instrumento psicométrico orientado a medir la percepción y experiencia de los usuarios ante entornos de realidad virtual aplicados al sector turístico. El estudio aporta evidencias de validez y confiabilidad que sientan las bases para investigaciones futuras sobre tecnologías inmersivas en la industria del turismo (Callan Bacilio et al., 2026).

En el ámbito de la química aplicada, Vanessa Martínez Cornejo, Salvador López Morales y Gerardo Cedillo Valverde presentan el artículo "Síntesis directa de un nuevo tensoactivo tipo Gemini basado en polidimetilsiloxano". Los autores reportan la obtención y caracterización de un surfactante Gemini novedoso derivado de polidimetilsiloxano (PDMS), cuyas propiedades anfífilas y de reducción de tensión superficial abren perspectivas de aplicación en formulaciones industriales y biomédicas. La metodología de síntesis directa propuesta representa una contribución significativa al diseño de materiales funcionales (Martínez Cornejo et al., 2026).

La tercera contribución, "Análisis Cluster para detectar patrones específicos entre usuarios de la banca de seguros para identificar posibles fraudes", elaborada por Abraham Jorge Jiménez Alfaro, Norma Karen Valencia Vázquez, Griselda

Cortés Barrera y Edgar Corona Organiche, propone el uso de algoritmos de agrupamiento (clustering) para identificar comportamientos atípicos en carteras de seguros. Los resultados demuestran la eficacia de las técnicas no supervisadas de aprendizaje automático como herramienta de apoyo en la detección temprana de fraudes financieros, con implicaciones directas para la gestión del riesgo en el sector asegurador (Jiménez Alfaro et al., 2026).

Amaury Castillo Cruz y Emmanuel Tonatihu Juárez Velázquez presentan el trabajo "Análisis para la implementación de un sistema de soporte técnico automatizado basado en LLM y Docker". La propuesta examina la factibilidad técnica y arquitectónica de integrar modelos de lenguaje de gran escala (LLM) con contenedores Docker para ofrecer un servicio de soporte técnico automatizado, escalable y reproducible. El estudio identifica los principales desafíos de despliegue y sugiere estrategias de optimización que pueden orientar proyectos similares en entornos empresariales (Castillo Cruz & Juárez Velázquez, 2026).

Finalmente, Israel Antonio Marín Castañeda ofrece una reflexión pedagógica en el artículo "Cypress en la Capacitación Universitaria para Testing web". El autor analiza la pertinencia de incorporar el framework Cypress en los programas de formación universitaria en ingeniería de software, destacando sus ventajas didácticas frente a otras herramientas de automatización de pruebas. Los hallazgos sugieren que la adopción de Cypress contribuye al desarrollo de competencias prácticas alineadas con las demandas actuales de la industria tecnológica (Marín Castañeda, 2026).

Los cinco trabajos publicados en este número comparten un denominador común: la aplicación de metodologías rigurosas para responder a necesidades concretas de la sociedad y la industria. El Comité Editorial agradece la confianza de los autores y el trabajo invaluable de los revisores, quienes con su pericia garantizan la calidad científica de cada contribución. Extendemos también un reconocimiento especial a los lectores de RICT, cuya retroalimentación continúa siendo el motor que impulsa la mejora permanente de nuestra publicación.

Invitamos a la comunidad científica a explorar con detenimiento las contribuciones aquí reunidas y a considerar

*Autor para la correspondencia: fjacobavila@tese.edu.mx

Correo electrónico: fjacobavila@tese.edu.mx (Francisco-Jacob Ávila-Camacho).

RICT como espacio para la difusión de sus propias investigaciones. Los detalles para la presentación de manuscritos se encuentran disponibles en las instrucciones para autores publicadas en nuestro portal institucional.

Comité Editorial

RICT – Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación.

Volumen 4, Número 7, 2026

2. Referencias

- Callan Bacilio, R., Campos Gonzales, D. S., Mendoza Vasquez, B. M., & Agustin Hurtado, A. J. (2026). Diseño y validación psicométrica de un instrumento de la realidad virtual en el turismo. *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, 4(7), 1–8.
- Martínez Cornejo, V., López Morales, S., & Cedillo Valverde, G. (2026). Síntesis directa de un nuevo tensoactivo tipo Gemini basado en polidimetilsiloxano. *RICT Revista de Investigación Científica,*

Tecnológica e Innovación, 4(7), 9–15.

Jiménez Alfaro, A. J., Valencia Vázquez, N. K., Cortés Barrera, G., & Corona Organiche, E. (2026). Análisis Cluster para detectar patrones específicos entre usuarios de la banca de seguros para identificar posibles fraudes. *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, 4(7), 16–22.

Castillo Cruz, A., & Juárez Velázquez, E. T. (2026). Análisis para la implementación de un sistema de soporte técnico automatizado basado en LLM y Docker. *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, 4(7), 23–28.

Marín Castañeda, I. A. (2026). Cypress en la Capacitación Universitaria para Testing web. *RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, 4(7), 29–35.

Diseño y validación psicométrica de un instrumento de la realidad virtual en el turismo

Psychometric design and validation of a virtual reality instrument in tourism.

Richard Callan Bacilio ^a, Denilson Stev Campos Gonzales ^a, Bryan Miguel Mendoza Vasquez ^a, Aldair Jorginho Agustin Hurtado ^a

^aFacultad de Ciencias Empresariales, Universidad de Huánuco, 10001, Huánuco, Huánuco, Perú.

Resumen

La realidad virtual se ha convertido en una herramienta innovadora dentro del turismo, al ofrecer experiencias inmersivas que fortalecen la conexión emocional entre los visitantes y el destino; sin embargo, en regiones como Huánuco su desarrollo es aún limitado y existen pocos estudios que evalúen su impacto desde una perspectiva científica. El objetivo del presente estudio fue desarrollar y validar un instrumento psicométrico para medir la experiencia del turista digital en entornos de realidad virtual. Se desarrolló una investigación de tipo instrumental, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, aplicando un cuestionario diseñado para 400 participantes y sometido a evaluación de contenido por expertos en el área. Los resultados mostraron adecuados niveles de validez y fiabilidad, con un alfa de Cronbach entre 0.858 y 0.960, confirmando una estructura compuesta por tres dimensiones: inmersión, satisfacción del usuario y experiencia virtual. En conclusión, el instrumento demuestra ser válido y fiable para evaluar la experiencia del turista digital en entornos inmersivos, constituyéndose en una herramienta metodológica pertinente para futuras investigaciones en turismo y tecnologías inmersivas.

Palabras clave: Realidad virtual, turismo digital, validación psicométrica, satisfacción del usuario, experiencia virtual, innovación tecnológica, turismo inmersivo.

Abstract

Virtual reality has emerged as an innovative tool in the tourism sector by providing immersive experiences that strengthen the emotional connection between visitors and destinations; however, in regions such as Huánuco, its development remains limited, and few studies have examined its impact from a scientific perspective. The aim of this study was to develop and validate a psychometric instrument to measure the digital tourist experience in virtual reality environments. An instrumental, quantitative, and non-experimental design was employed, applying a questionnaire designed for 400 participants and subjected to content validation by experts. The results showed adequate levels of validity and reliability, with Cronbach's alpha coefficients ranging from 0.858 to 0.960, confirming a three-dimension structure consisting of immersion, user satisfaction, and virtual experience. Overall, the findings indicate that the instrument is valid and reliable for assessing the digital tourist experience in immersive contexts, providing a solid methodological basis for future research in tourism and immersive technologies.

Keywords: Virtual reality, digital tourism, psychometric validation, user satisfaction, virtual experience, technological innovation, immersive tourism.

*Autor para la correspondencia: richard.callan@udh.edu.pe

Correo electrónico: richard.callan@udh.edu.pe (Richard Callan Bacilio), 2019210383@udh.edu.pe (Denilson Stev Campos Gonzales), 2017111827@udh.edu.pe (Bryan Miguel Mendoza Vasquez), aldair.agustin@udh.edu.pe (Aldair Jorginho Agustin Hurtado), Esta área se llena cuando el manuscrito se aceptado con los nombres completos y correos de todos los autores.

Historial del manuscrito: recibido el 08/12/2025, última versión-revisada recibida el 21/01/2026, aceptado el 22/01/2026, publicado el 04/02/2026. **DOI:** <https://doi.org/10.5281/zenodo.18463702>



1. Introducción

El turismo se transforma a medida que la Realidad Virtual (RV) da paso a una experiencia envolvente, capaz de provocar emociones y fomentar el deseo de viajar. Esta transformación motiva a los turistas digitales a utilizar la tecnología más reciente para diseñar productos más atractivos y eficaces, con el fin de incrementar la competitividad de los destinos turísticos en el mercado global.

A través de los lentes de RV, el usuario se puede sumergir en ambientes tridimensionales inmersivos, en primera persona y con visión de 360°, viviendo la sensación de estar en ellos o incluso interactuar con sus componentes. La clave de las simulaciones en PC "mirar" a través de una pantalla para estar, en tiempo real, "dentro" del espacio virtual (Juca et al., 2020).

En el ámbito del turismo, la realidad virtual ha sido empleada no solo como una estrategia de mercadotecnia para la promoción de destinos, sino también como un mecanismo de experiencia turística en sí misma. Este enfoque se evidencia, por ejemplo, en el desarrollo del turismo de museos virtuales, donde los usuarios pueden recorrer espacios culturales de manera inmersiva sin necesidad de desplazarse físicamente. Al ofrecer experiencias virtuales previas o alternativas al viaje, la realidad virtual puede generar una conexión emocional entre los turistas y los destinos, incrementando el interés y la intención de visita presencial (Sharma & Sharma, 2022). En este sentido, las empresas e instituciones turísticas han comenzado a incorporar la realidad virtual dentro de sus estrategias de gestión y promoción, pese a enfrentar limitaciones asociadas a los costos tecnológicos y a la brecha digital en determinados grupos de usuarios (Wirth & Racine, 2023).

Pero la efectividad de la RV para promocionar un destino depende del tipo de contenido, siendo las experiencias más interactivas y activas las más atractivas para generar mayor involucramiento emocional que los formatos pasivos (Griffin et al., 2023). A su vez, la RV genera una experiencia multisensorial que refuerza la imagen de destino y el apego emocional de los turistas (Melo et al., 2024).

Esta herramienta tecnológica se aplica en diversas industrias, como la educación, salud, ingeniería y turismo (Torres & Zanatta, 2023; Genaro & Capote, 2020; Calisto & Sarkar, 2024; Navarro & Vallejo, 2020). Debido a que, ofrece una experiencia inmersiva que permite a los usuarios experimentar situaciones como si estuvieran en un entorno real, aunque no estén físicamente allí (Fjærtøft et al., 2023). Mediante el uso de los lentes de RV, los usuarios pueden ver, escuchar e interactuar con entornos virtuales creados de tal manera que se asemejan al mundo real (Safikhani et al., 2024). Esta herramienta potencial ayuda a los turistas potenciales a explorar destinos virtualmente antes de decidir viajar, no solo mejora la interacción, sino que también proporciona una experiencia de vista previa más inmersiva y realista que los medios tradicionales. (Di Dalmazi et al., 2024; Hongxiao et al., 2024)

Los estudios de la realidad virtual identificados revelan instrumentos desde la perspectiva educativa, económica, psicológica (Ahmady et al., 2023; Peñalosa et al., 2024;

Valencia et al., 2024). No obstante, pese a los avances teóricos y aplicados en torno a la realidad virtual, aún no se dispone de instrumentos validados que midan el comportamiento de los turistas digitales en entornos inmersivos.

Investigaciones recientes han desarrollado y validado instrumentos que evalúan la calidad de la experiencia y el valor percibido en entornos virtuales. Komsit & Rattawut (2024) analizaron cómo la calidad de la experiencia de realidad virtual influye en la intención de visita a destinos turísticos, Zheng et al. (2023) desarrollaron una escala para medir el valor percibido en el turismo de conocimiento local, identificando dimensiones como el valor funcional, emocional, social, cognitivo y de autorrealización.

La realidad virtual constituye una herramienta innovadora con potencial para enriquecer la experiencia turística. Sin embargo, en contextos como la región Huánuco, se observa una limitada producción investigativa orientada a evaluar su impacto desde una perspectiva psicométrica, dado que las iniciativas existentes se han orientado a la promoción cultural y a la digitalización de atractivos turísticos, sin integrar procesos de medición ni validación científica, ya que esto evidencia una falta de rigor en la evaluación de sus efectos.

Por ello, el presente estudio tiene como objetivo diseñar y validar un instrumento psicométrico que permita medir la experiencia y percepción de los turistas frente al uso de la realidad virtual. De este modo, se espera proporcionar un punto de partida para futuras investigaciones y contribuir al uso ético y científico de la tecnología en el turismo del Perú.

1.2. Realidad Virtual

Hoy en día, cuando se mencionan nuevos formatos tecnológicos, se suelen escuchar palabras como multimedia, crossmedia, transmedia, realidad virtual, aumentada. Muy pronto también la llegada de la tecnología sin pantalla (Chen et al., 2021), que cambiará la forma en que interactuamos con el mundo digital.

En este contexto, la realidad virtual (RV) es un sistema informático que genera un mundo tridimensional interactivo, dando al usuario la sensación de presencia, dado que las propiedades como: la inmersión, la interacción y la retroalimentación, han permitido que se incorpore en diversos sectores (Cuevas & Gutiérrez, 2023) y para hacer posible esta inmersión, se necesitan dispositivos de visualización específicos que permitan al usuario sumergirse en el entorno virtual (Stracke et al., 2025)

La implementación de estas tecnologías, sobre todo de realidad virtual, influye en sectores como el turismo, dado que, estas herramientas permiten a los usuarios visitar lugares desde casa, haciendo que el turismo sea más fácilmente accesible y atractiva, especialmente para los lugares menos conocidos o de difícil acceso (Patiño, 2023).

1.3. Inmersión

La idea de inmersión se asocia a la intención de demostrar que el usuario al sumergirse en un entorno virtual, puede generar la sensación de presencia. Actualmente, el

reconocimiento de la cantidad de inmersión es captado por dispositivos que envían al usuario la sensación de estar dentro de un entorno virtualizado, levantando sus sentidos y la mente a lo que sucede en ese lugar, con el aislamiento del mundo exterior y así manipular y explorar de manera natural los objetos invertidos por el espectador (McGowin & Fiore, 2024)

Por otra parte, Casales (2024) indica que la inmersión como la acción y efecto causa una respuesta sobre algo que puede percibirlo, dicho de otro modo, siendo un efecto inmaterial que puede percibir el ser humano mediante los sentidos y el intelecto, teniendo un carácter universal y sociocultural que se ha transmitido históricamente entre distintas culturas.

1.4. Satisfacción del usuario

La satisfacción del usuario se refiere al grado de contento, complacencia y gratificación que una persona experimenta después de utilizar un producto, servicio o participar en una experiencia. Esta sensación resulta de la comparación entre las expectativas previas del usuario y la percepción real del producto o servicio recibido. En otras palabras, es la medida en la que se siente satisfecho con la calidad, eficacia y eficiencia de lo que ha adquirido o experimentado. Por lo tanto, se relaciona con su experiencia general y puede influir en su fidelidad, lealtad y probabilidad de recomendar el producto o servicio a otros (Müjde & Özer, 2022). Si un usuario considera que sus expectativas han sido superadas o igualadas, es más probable que se sienta satisfecho y, por ende, más inclinado a mantener una relación continua con la empresa o la marca.

A su vez se enmarca en la identificación, comprensión y gestión de procesos que buscan generar eficiencia y eficacia por parte de los servidores públicos. Frecuentemente, este término se asocia con otros dos que han cobrado fuerza de manera similar: la calidad y la evaluación; y juntos, han ido evolucionando gradualmente para adaptarse a la realidad, al igual que ha sucedido previamente en otras organizaciones de servicios (Schiebler & Brodbeck, 2025). Desde el punto de vista del usuario, la satisfacción de sus necesidades es el criterio supremo de la eficacia del sistema.

1.5. Exploración virtual

La exploración virtual en turismo ha experimentado una transformación notable mediante la integración de tecnologías digitales. Las aplicaciones tecnológicas han emergido como facilitadores clave que simplifican la planificación turística y enriquecen la experiencia del viajero, especialmente a través de la exploración virtual de destinos mediante realidad virtual (Pérez, 2024).

Los prototipos de realidad virtual han demostrado mejorar la experiencia del turismo cultural, permitiendo recorridos turístico culturales con evaluaciones positivas de usabilidad y aceptación por parte de los usuarios (Baker et al., 2023), dado que los entornos virtuales ofrecen nuevas formas de consumo turístico y producción cultural digital.

1.6. Valor de marca y promoción

El valor de marca pasó de ser un simple símbolo a un indicador vital para conocer la opinión del consumidor ante la competencia y orientar las estrategias de mercado hacia la satisfacción del cliente (Porto et al., 2023). En el sector del lujo, factores como la notoriedad, la fidelidad, la imagen o el compromiso influyen en el valor de marca (Gallart-Camahort et al., 2021). Para el sector hotelero se han llegado a identificar variables y métricas propias que se pueden ajustar a la edificación de marca (Salazar & Oña, 2021). La promoción, dentro de la mezcla de mercadotecnia, es un instrumento que apoya a las organizaciones para dar a conocer el producto en el mercado y asegurar las ventas (Wu, 2024).

2. Materiales y Método

El estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental de tipo instrumental, orientado al diseño y validación psicométrica de un instrumento de medición. Según Mejía & Sandoval-Henríquez (2025), los diseños instrumentales “analizan las propiedades psicométricas de los instrumentos de medida, así como desarrollan nuevas herramientas de evaluación”. En este marco, la investigación no manipula variables, sino que se enfoca en la recopilación de datos empíricos para determinar la validez y confiabilidad del instrumento aplicado a la realidad virtual en el turismo.

Corresponde a un nivel descriptivo, ya que su propósito es caracterizar y validar las dimensiones e ítems del instrumento que mide la experiencia del usuario en entornos inmersivos. Hernández et al. (2022) indican que los estudios descriptivos “buscan especificar propiedades, características y perfiles importantes de personas, grupos o fenómenos”. Esto se relaciona directamente con la naturaleza del presente estudio, al describir las dimensiones de inmersión, satisfacción del usuario y experiencia virtual. Este tipo de enfoque metodológico es ampliamente reconocido en la literatura científica por su aporte al desarrollo de instrumentos válidos y confiables en el ámbito de la investigación aplicada (Torres & Zanatta, 2023; Ratnasari et al., 2023).

La validez de contenido del instrumento se estableció mediante un proceso de juicio de expertos, quienes evaluaron la claridad, pertinencia y representatividad de los ítems en relación con las dimensiones teóricas propuestas. Este procedimiento permitió asegurar que los ítems reflejen adecuadamente los constructos que se puedan medir en el contexto de la realidad virtual aplicada al turismo.

La confiabilidad del instrumento se evaluó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, ampliamente utilizado en estudios psicométricos de carácter exploratorio para estimar la consistencia interna de escalas compuestas por ítems tipo Likert. Se optó por este coeficiente debido a la naturaleza exploratoria del estudio y a su aceptación en investigaciones aplicadas, obteniéndose valores superiores a 0,80, lo que indica un nivel adecuado de consistencia interna.

Los ítems del instrumento fueron formulados mediante una escala tipo Likert, por lo que las variables son de naturaleza ordinal y fueron tratadas como continuas para efectos del

análisis estadístico, siguiendo prácticas habituales en estudios de validación de instrumentos.

Finalmente, se efectuó una evaluación cuantitativa que permitió verificar la cobertura de todas las dimensiones del fenómeno analizado. En una primera etapa se definieron las dimensiones teóricas, y posteriormente se formularon los ítems y se establecieron las escalas de medición, asegurando la coherencia interna y la validez estructural del instrumento diseñado.

Tabla 1

Datos Sociodemográficos

Lugar de Procedencia (Departamento)		
	N	%
Huánuco	302	75,5%
Amarilis	61	15,3%
Pillco Marca	22	5,5%
Otros	15	3,8%
Sexo		
	N	%
Masculino	230	57,5%
Femenino	170	42,5%
Edad		
	N	%
22 - 27 años	161	40,3%
28 - 33 años	147	36,8%
18 - 21 años	51	12,8%
34 años a más	41	10,3%

Nota: Análisis de los datos en SPSS

En relación con el lugar de procedencia, la mayoría de los participantes proviene del distrito de Huánuco, representando el 75,5 % del total encuestado. En segundo lugar, se encuentra Amarilis con un 13,2 %, seguido de Pillco Marca con 6,5 %, mientras que otros distritos registran un 1,3 %. Estos resultados muestran una clara concentración de participantes locales, principalmente de Huánuco.

En cuanto al sexo, se observa un predominio del sexo masculino con 56,1 % (n = 174), frente al 43,9 % (n = 136) correspondiente al sexo femenino, evidenciando una ligera mayor participación de varones en el estudio.

Respecto a la edad, el grupo etario más numeroso se ubica entre 22 y 27 años, representando el 43,5 % (n = 135) de los encuestados. Le sigue el grupo de 28 a 33 años con 34,5 % (n

= 107). En menor proporción se encuentran los jóvenes de 18 a 21 años con 13,2 % (n = 41), y finalmente el grupo de 34 años a más, que representa el 8,7 % (n = 27). Esta distribución refleja una alta participación de personas jóvenes en la investigación.

3. Resultados

Se recolectaron datos mediante la aplicación de 400 cuestionarios válidos, de un total de 420 instrumentos distribuidos, lo que representa una tasa de respuesta del 95,2 %. La muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia, debido a la ausencia de un marco muestral definido de turistas digitales. El tamaño muestral obtenido resulta adecuado para análisis psicométricos exploratorios, considerando un nivel de confianza del 95 % y un margen de error aproximado del 5 %.

Para la evaluación de la validez de constructo del instrumento se empleó el Análisis de Componentes Principales (ACP), en coherencia con el carácter exploratorio del estudio y el objetivo de identificar la estructura subyacente de las dimensiones propuestas. Dado que no se dispone de un valor poblacional conocido, el análisis se realizó sin la aplicación de ponderadores, asumiendo cargas factoriales directas. Se adoptó como criterio mínimo de retención de ítems una carga factorial igual o superior a 0,44, conforme a estándares utilizados en estudios psicométricos exploratorios.

Se aplicaron 400 de los 420 cuestionarios programados, lo que correspondió al 95,2% del total contemplado para las turistas digitales incluidas en el estudio.

El análisis de componentes principales permitió conservar un total de 36 ítems, distribuidos en tres dimensiones: Inmersión (20 ítems), Satisfacción del usuario (12 ítems) y Experiencia virtual (4 ítems), las cuales evidencian una estructura coherente con el marco teórico propuesto.

Tabla 2

Dimensiones

DIMENSIONES	
41	0.722
33	0.688
32	0.667
34	0.656
31	0.642
38	0.637
29	0.633
39	0.627
42	0.617
43	0.607

27	0.604	
36	0.597	
40	0.557	
30	0.556	
26	0.552	
35	0.540	
28	0.530	
20	0.525	
22	0.514	
24	0.506	
14		0.668
12		0.636
13		0.598
17		0.590
2		0.547
10		0.541
16		0.541
19		0.535
15		0.533
11		0.530
21		0.522
25		0.503
8		0.751
7		0.736
5		0.676
6		0.554

Nota: Análisis de los datos en SPSS

3.1. VALIDEZ FACTORIAL

Para evaluar la estructura interna del instrumento se realizó un análisis factorial de carácter exploratorio, considerando como punto de partida las dimensiones propuestas teóricamente en el marco conceptual. Estas dimensiones iniciales no fueron impuestas al modelo, sino que sirvieron como referencia conceptual para el análisis empírico de los ítems.

El análisis se llevó a cabo mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP), empleando la matriz de correlaciones entre los ítems. Se utilizó el criterio de Kaiser (autovalores mayores a 1) para la determinación del número de componentes y se aplicó una rotación varimax con el objetivo de facilitar la interpretación de la estructura resultante. Se estableció como criterio mínimo de retención de ítems una carga igual o superior a 0,50.

Previamente, se verificó la adecuación de los datos para el análisis factorial mediante la prueba de Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett. Los resultados evidenciaron un valor KMO de 0,967, considerado excelente, y una prueba de Bartlett significativa ($\chi^2 = 10209,298$; $gl = 630$; $p < 0,001$), lo que confirmó la pertinencia de aplicar un análisis factorial exploratorio.

Inicialmente, el instrumento estuvo conformado por 43 ítems. Como resultado del análisis factorial exploratorio, se descartaron aquellos ítems que no alcanzaron la carga mínima establecida o que presentaron inconsistencias conceptuales. Finalmente, se obtuvo una estructura compuesta por 36 ítems agrupados en tres dimensiones empíricas, las cuales explican el 58,685 % de la varianza total acumulada y presentan cargas superiores a 0,50 en todos los casos.

Las dimensiones resultantes corresponden a Inmersión (20 ítems), Satisfacción del usuario (12 ítems) y Experiencia virtual (4 ítems), cuya configuración es coherente con el marco teórico y evidencia una adecuada correlación conceptual entre los ítems y los constructos medidos (Tabla 3).

Tabla 3

Valores de las dimensiones

Dimensión	Nº de ítems	Confiabilidad Alpha de Cronbach	Validez Factorial	Media	Desviación Estándar	Varianza
Inmersión	20	0.960	0.599	3.983	0.6517	0.425
Satisfacción del usuario	12	0.923	0.562	4.018	0.667	0.446
Experiencia virtual	4	0.858	0.679	3.79	0.824	0.686

Nota: Análisis de los datos en SPSS

Los resultados del análisis de confiabilidad para el instrumento de Realidad Virtual en la región Huánuco, compuesto por 36 ítems distribuidos en tres dimensiones, se obtuvieron, en general y para cada una de sus dimensiones por separado, mediante el paquete estadístico SPSS- 27 para Windows.

El índice Alpha de Cronbach fluctuó entre 0.858 y 0.960, lo que evidencia una adecuada consistencia interna del instrumento y demuestra que los ítems presentan una correlación homogénea dentro de cada dimensión, reflejando una confiabilidad satisfactoria para la medición del constructo.

Para completar el análisis de la validez de constructo, se calculó la validez relevante mediante el promedio de la raíz cuadrada de la comunalidad de los ítems. La validez relevante total para el cuestionario fue de 0.613

Tabla 4

<i>Validez de constructo</i>	
Dimensión	Validez Relevante
1	0.599
2	0.562
3	0.679
VALIDEZ TOTAL	0.613

Nota: Análisis de los datos en SPSS

La validez relevante del instrumento se evaluó tanto a nivel de cada dimensión como a nivel global. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que todos los valores superaron el umbral de aceptabilidad de 0.5. Específicamente, la dimensión 3 presentó el mayor índice de validez con un valor de 0.679, seguida por la dimensión 1 con 0.599 y la dimensión 2 con 0.562. El índice de Validez Total del instrumento se situó en 0.613, confirmando que el contenido del instrumento es relevante y apropiado para medir el constructo propuesto.

4. Discusión

Respecto a la validez de constructo, los resultados del análisis factorial revelaron una estructura compuesta por tres dimensiones: inmersión, satisfacción del usuario y experiencia virtual, que explican conjuntamente el 58.68 % de la varianza total, con cargas factoriales superiores a 0.50 en todos los ítems. Este porcentaje de varianza explicada es superior al mínimo aceptado para escalas exploratorias y similar al hallado en investigaciones recientes sobre experiencias inmersivas en turismo digital (Tussyadiah et al., 2018). La consistencia de la estructura factorial, junto con el valor del Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO = 0.967$) y la significancia de la prueba de Bartlett ($p < 0.001$), confirma la adecuación de los datos al modelo y la correlación entre las variables observadas.

Por otro lado, la confiabilidad del instrumento, evaluada mediante el coeficiente Alpha de Cronbach, arrojó valores comprendidos entre 0.858 y 0.960, lo que evidencia una alta consistencia interna en cada una de las dimensiones. Estos niveles superan ampliamente los estándares mínimos de 0.70 recomendados por la literatura psicométrica lo que demuestra estabilidad en las respuestas y homogeneidad conceptual. Dimensión Inmersión obtuvo el coeficiente más elevado, lo cual refleja la importancia de los elementos perceptivos y sensoriales en la generación de experiencias virtuales auténticas, en consonancia con los planteamientos de (Rahman, Chen & Bernard, 2023) quienes destacan que la

sensación de presencia y participación activa son determinantes en la satisfacción del turista digital.

Asimismo, la validez relevante total de 0.613 indica que las dimensiones propuestas guardan coherencia con la definición teórica de la experiencia de realidad virtual en el contexto turístico, confirmando la relación conceptual entre los componentes medidos. Este valor es consistente con estudios recientes en los que se emplea PLS-SEM para validar métricas similares: por ejemplo, en una investigación sobre la experiencia de destino en realidad virtual, reportaron valores de validez convergente mediante AVE superiores a 0.50 para sus constructos, lo que demuestra una buena coherencia entre los ítems y las dimensiones teóricas

De igual forma, la alta tasa de respuesta (95.2 %) y el tamaño muestral de 400 participantes refuerzan la representatividad de los resultados, permitiendo inferencias válidas en el ámbito local de Huánuco. Estos resultados respaldan el potencial del instrumento como herramienta de evaluación en investigaciones que aborden la percepción y el valor de las experiencias inmersivas aplicadas al turismo, aspecto que coincide con (Komsit & Rattawut, 2024), quienes destacan el papel de la tecnología inmersiva en la formación de actitudes y conductas turísticas.

5. Conclusiones

En conclusión, el instrumento desarrollado y validado presenta propiedades psicométricas adecuadas, con validez de contenido, de constructo y alta confiabilidad, ya que estos resultados apoyan su uso como instrumento científico para medir la experiencia turística mediada por realidad virtual en el contexto peruano.

Crear y validar un instrumento para medir la experiencia turística en ambientes de realidad virtual (RV) supuso llevar a cabo los procedimientos metodológicos para la validación de contenido, de constructo y la evaluación de la confiabilidad, siguiendo los criterios psicométricos definidos en la literatura científica. Los resultados de este estudio demostraron que el instrumento posee características apropiadas para ser considerado válido y confiable, satisfaciendo los criterios técnicos para la validación de escalas de medición (Ahmady et al., 2023; Kieanwatana & Vongvit 2024).

También se verifica que la realidad virtual es una herramienta novedosa para estudiar las percepciones, emociones y conductas del turista digital, ya que la naturaleza tridimensional del artefacto inmersión-satisfacción-experiencia virtual permite explorar los elementos cognitivos, afectivos y perceptivos de la experiencia turística inmersiva.

En conclusión, es aconsejable utilizar el instrumento en diferentes lugares y tipos de turistas para examinar su invarianza factorial y validez transcultural. Esta aplicación fortalecerá su impacto científico-práctico, posibilitando el diseño de estrategias turísticas soportadas en experiencias virtuales y el desarrollo sostenible del turismo con tecnologías inmersivas contextualizadas.

Finalmente, se planteó utilizar el instrumento en otros contextos regionales y tipos de turistas, para ampliar la evidencia empírica sobre su funcionamiento y estabilidad en

distintos contextos culturales. Esta continuidad reforzará su impacto científico-práctico, posibilitando el diseño de estrategias turísticas soportadas en experiencias virtuales y el turismo sostenible con tecnologías inmersivas contextualizadas.

De esta manera, el estudio es un aporte para la línea de investigación de turismo digital y tecnología inmersiva, siendo una de las primeras aproximaciones psicométricas encontradas en el contexto peruano.

6. Referencias

- Ahmady, S., Kohan, N., Mirmoghadaie, Z. S., Hamidi, H., Sabet Divshali, B., Rakhshani, T., & Jeihooni, A. K. (2023). Designing and psychometric analysis of an instrument to assess learning process in a virtual environment. *Smart Learning Environments*, 10, 35. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00254-w>
- Baker, J., Nam, K., & Dutt, C. S. (2023). A user experience perspective on heritage tourism in the metaverse: Empirical evidence and design dilemmas for VR. *Information Technology & Tourism*, 25, 265–306. <https://doi.org/10.1007/s40558-023-00256-x>
- Calisto, M. de L., & Sarkar, S. (2024). A systematic review of virtual reality in tourism and hospitality: The known and the paths to follow. *International Journal of Hospitality Management*, 116, artículo 103623. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2023.103623>
- Casales, A. (2024). Aproximaciones a la inmersión y su percepción auditiva. *Calle 14 revista de investigación en el campo del arte*, 19(36), 288–305. <https://doi.org/10.14483/21450706.20572>
- Chen, M., Monroy, A., & Sra, M. (2021). Scene AR: Scene-based micro narratives for sharing and remixing in augmented reality. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*. arXiv. <https://doi.org/10.1109/ISMAR52148.2021.00045>
- Cuevas, K. I., & Gutiérrez, J. M. (2023). Realidad virtual en el cuidado del adulto mayor: análisis de concepto. *Index de Enfermería*, 32(1). <https://doi.org/10.58807/indexenferm20224954>
- Di Dalmazi, M., Mandolfo, M., Guixeres, J., Alcañiz, M., & Lamberti, L. (2024). How immersive technologies impact behavioral responses in destination marketing: The role of physiological arousal, presence, and age. *International Journal of Contemporary Hospitality*. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-09-2023-1511>
- Fjærtøft, T., Karlsen, H. R., Langvik, E., & Saksvik, I. (2023). The effect of immersion on sense of presence and affect when experiencing an educational scenario in virtual reality: A randomized controlled study. *Heliyon*, 9(3), e17196. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17196>
- Gallart-Camahort, V., De la Oliva-Ramos, E., & Fernández-Durán, L. (2021). Luxury brands: Awareness and image and its influence on loyalty and engagement. *Contextus Revista Contemporânea de Economia e Gestão*, 19(2), 305–315. <https://doi.org/10.19094/contextus.2021.71415>
- Genaro, L. E., & Capote, T. S. de O. (2020). Use of Virtual Reality in Dentistry: Literature Review. *OdoVotos - International Journal of Dental Sciences*, 23(2), 33–38. <https://doi.org/10.15517/ijds.2020.42111>
- Griffin, T., Guttentag, D., Lee, S. H., Giberson, J., & Dimanche, F. (2023). Is VR always better for destination marketing? Comparing different media and styles. *Journal of Vacation Marketing*, 29(1), 119–140. <https://doi.org/10.1177/13567667221078252>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Hongxiao Yu, Oh, H., & Wang, K.-C. (2024). Virtual reality and perceptions of destination presence. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 36(11), 3950–3968. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2023-0744>
- Juca, F., Lalangui, J., & Bastidas, M. I. (2020). Rutas inmersivas de realidad virtual como alternativa tecnológica en el proceso educativo. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 50–51. <https://doi.org/10.62452/ghznt417>
- Kieanwatana, K., & Vongvit, R. (2024). Virtual reality in tourism: The impact of virtual experiences and destination image on the travel intention. *Results in Engineering*, Volume 24. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103650>
- McGowin, G., & Fiore, S. M. (2024). Mind the Gap! Advancing Immersion in Virtual Reality Factors, Measurement, and Research Opportunities. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 68(1), 1648–1654. <https://doi.org/10.1177/10711813241278833>
- Mejía, P., & Sandoval-Henriquez, F. (2025). Design and validation of an instrument to measure knowledge about gender identity and sexual orientation in Chilean higher education students. *Revista de Investigación Educativa*, 43. <https://doi.org/10.6018/rie.599871>
- Melo, M., Gonçalves, G., Jorge, F., Losada, N., Barbosa, L., Teixeira, M. S., & Bessa, M. (2024). The impact of virtual reality and biological sex on the promotion of tourist destinations: effects on destination image, place attachment, and behavioural intention. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*. <https://doi.org/10.1108/JHTT-01-2023-0015>
- Müjde, A., & Özer, Y. (2022). Consumer Complaints and Complaint Management in the Tourism Sector. *Managing Risk and Decision Making in Times of Economic Distress*. <https://doi.org/10.1108/S1569-37592022000108A034>
- Navarro, J., & Vallejo, L. E. (2020). Realidad Virtual bajo una visión modular de Industria 4.0. *Revista Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad*, 2(1). <http://hdl.handle.net/11371/3374>
- Patiño, C. (2023). La realidad virtual en la promoción del turismo. *Revista Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 11(2), 143–152. <https://doi.org/10.18259/acs.2023017>
- Peñaloza, E. L., Loza, R. M., & Arámbulo, M. C. (2024). Evaluación psicométrica de la escala cultura financiera en estudiantes universitarios. *Quipu Kamayoc*, 32(68). <http://dx.doi.org/10.15381/quipu.v32i68.29235>
- Pérez, O. (2024). Aplicaciones tecnológicas y recursos turísticos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10616
- Porto, R. B., Foxall, G. R., Limongi, R., & Barbosa, D. L. (2023). Unraveling corporate brand equity: a measurement model based on consumer perception of corporate brands. *Journal of Modelling in Management*. <https://doi.org/10.1108/JM2-04-2023-0067>
- Rahman, I., Chen, H., & Bernard, S. (2023). The incidence of environmental status signaling on three hospitality and tourism green products: A scenario-based quasi-experimental analysis. *Tourism Management Perspectives*, 46, 101076. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2023.101076>
- Ratnasari, N., Susanti, R. D., & Harun, H. (2023). Psychometric validation of nursing student's learning experiences questionnaire on using virtual reality. *Journal of Nursing Care*, 6(2). <https://doi.org/10.24198/jnc.v6i2.44384>
- Safikhani, S., Gattringer, V., Schmied, M., Pirker, J., & Wriessnegger, S. C. (2024). The influence of realism on the sense of presence in virtual reality: Neurophysiological insights using EEG. *Multimodal Technologies and Interaction*, 4(4), 75. <https://doi.org/10.3390/mti8110104>
- Salazar, D., & Oña, Y. (2021). El Valor de Marca. Una Perspectiva Centrada en el Consumidor de Alojamiento. *Economía y Negocios Revista UTE*, 12(1), 36–50. <https://doi.org/10.29019/eyn.v12i1.916>
- Schiebler, T., Lee, N., & Brodbeck, F. C. (2025). Expectancy-disconfirmation and consumer satisfaction: A meta-analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science*. <https://doi.org/10.1007/s11747-024-01078-x>
- Sharma, R. C., & Sharma, Y. (2022). Augmenting Learning through Virtual Reality Applications in Education. *Journal of Nursing Care*, 6(2). <https://doi.org/10.24198/jnc.v6i2.44384>
- Stracke, C. M., Bothe, P., Adler, S., Heller, E. S., Deuchler, J., Pomino, J., & Wölfel, M. (2025). Immersive virtual reality in higher education: A systematic review of the scientific literature. *Virtual Reality*, 29, 64. <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01136-x>
- Torres, A. M., & Zanatta, M. E. (2023). Diseño y validación de una escala de medición para explorar los saberes estructurantes en la formación integral de estudiantes de nivel universitario. *Revista Educación*, 47(1). <https://doi.org/10.15517/revedu.v47i1.51791>
- Tussyadiah, I. P., Wang, D., Jung, T. H., & Tom Dieck, M. C. (2018). Virtual reality, presence, and attitude change: Empirical evidence from tourism. *Tourism Management*, 66, 140–154. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.12.003>
- Valencia, I., Aguilar, J. V., & Quispe, A. (2024). Adaptación y validación psicométrica de la escala de ansiedad social (EDAS) en estudiantes del nivel secundaria. *Revista Científica de Ciencias de la Salud*, 17(1). <https://doi.org/10.17162/rcs.v14i1.2064>
- Wirth, J., & Racine, N. (2023). The Real Effectiveness of VR: The Tourism and Cultural Organization Managers' Point of View. *Proceedings of the International Conference on Tourism Research*. <https://doi.org/10.34190/ictr.6.1.1195>

- Wu, S. (2024). Market demand, marketing promotion, and sales performance: Framework for novelty products business improvement. *International Journal of Research Studies in Management*, 12(15), 207–214. <https://doi.org/10.5861/ijrsm.2024.1315>
- Zheng, D., Huang, C., & Oraltay, B. (2023). Digital cultural tourism: progress and a proposed framework for future research. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 28(3), 234–253. <https://doi.org/10.1080/10941665.2023.2217958>

↑

Síntesis directa de un nuevo tensoactivo tipo Gemini basado en polidimetilsiloxano One-step synthesis of a novel polydimethylsiloxane-based Gemini surfactant

Vanessa Martínez-Cornejo ^a, Salvador López Morales ^b, Gerardo Cedillo Valverde ^b

^aDepartamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.
^bInstituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México

Resumen

La recuperación mejorada de petróleo (EOR) en yacimientos no convencionales requiere el desarrollo de tensoactivos con alta estabilidad térmica y química en condiciones extremas. En este trabajo se reporta la síntesis de un novedoso tensoactivo tipo Gemini a base de polidimetilsiloxano (PDMS) con un rendimiento del 60%. La síntesis se realizó en un solo paso sin catalizador metálico, ofreciendo una ruta simplificada frente a métodos convencionales, a partir de PDMS con grupos terminales diglicidil éter (PDMS-DGE) y 1-octanol. La estructura fue confirmada mediante Resonancia Magnética Nuclear de protón (¹H-RMN) y espectroscopía infrarroja (FT-IR). Las propiedades superficiales, evaluadas por el método de ángulo de contacto sésil, determinaron una Concentración Micelar Crítica (CMC) de 0.88 mM. Este valor indica una alta eficiencia o rendimiento en la formación de micelas y en la reducción de la tensión interfacial utilizando bajas concentraciones del tensoactivo.

PALABRAS CLAVE: Tensoactivos Gemini, polidimetilsiloxano, CMC, EOR

Abstract

Enhanced Oil Recovery (EOR) in unconventional reservoirs requires the development of surfactants with high thermal and chemical stability under extreme conditions. This work reports the synthesis of a novel polydimethylsiloxane (PDMS)-based Gemini surfactant with a 60% yield. The synthesis was carried out in a single step without a metallic catalyst, offering a simplified route compared to conventional methods, using PDMS with diglycidyl ether terminal groups (PDMS-DGE) and 1-octanol as precursors. The structure was confirmed by proton Nuclear Magnetic Resonance (¹H-NMR) and Infrared Spectroscopy (FT-IR). Surface properties, evaluated by the sessile drop contact angle method, determined a Critical Micelle Concentration (CMC) of 0.88 mM. This value indicates high efficiency in micelle formation and interfacial tension reduction using low surfactant concentrations.

Keywords: Gemini surfactant, polydimethylsiloxane, CMC, EOR

1. Introducción

El petróleo se mantiene como la fuente primaria para la producción energética global. En la industria de hidrocarburos, su recuperación se gestiona a través de tres etapas críticas: primaria, secundaria y terciaria. La recuperación primaria utiliza la presión natural del yacimiento y bombeo mecánico, logrando extraer apenas el 30% del crudo. Al declinar la presión, se emplea la recuperación secundaria mediante la inyección de agua o gas, elevando el factor de recobro hasta el 62.5%. Finalmente, se recurre a la recuperación terciaria o mejorada (EOR), una fase técnica diseñada para movilizar el crudo residual que los métodos

convencionales no pueden extraer (Kamal, 2015; Raupov I. et al., 2025).

Las técnicas de EOR (térmicas, de inyección de gas y químicas) enfrentan limitaciones significativas, como altos costos operativos y baja eficiencia en la movilización de glóbulos de crudo atrapados en los poros de la roca. El objetivo del EOR químico es reducir la tensión interfacial del sistema agua-petróleo mediante tensoactivos. No obstante, las formulaciones convencionales suelen degradarse bajo las altas temperaturas del yacimiento o precipitar ante la presencia de cationes divalentes (Hassan et al., 2021). Por ello, un tensoactivo ideal para EOR debe poseer una baja tensión interfacial, alta estabilidad térmica y resistencia química.

*Autor para la correspondencia: vanessa_ma@tese.edu.mx

Correo electrónico: slm@iim.unam.mx (Salvador López Morales), gcedillo@materiales.unam.mx (Gerardo Cedillo Valverde)

Por lo tanto, un tensoactivo ideal para EOR debe generar una baja tensión interfacial entre las mezclas de agua-aceite y alta estabilidad térmica-química. Los tensoactivos Gemini han llamado la atención para su aplicación en EOR por sus propiedades únicas, por ejemplo, su baja concentración micelar crítica (CMC), también, reducen con mayor eficiencia la tensión interfacial entre aceite y agua que los tensoactivos convencionales (Guerrero-Hernández et al, 2022).

Los tensoactivos Gemini han surgido como una alternativa superior en los procesos EOR, debido a su estructura única: dos cadenas hidrofílicas y dos hidrofóbicas enlazadas por un espaciador (Alcalde, 2008). Comparados con los tensoactivos convencionales, presentan una CMC mucho más baja y una mayor eficiencia en la reducción de la tensión interfacial (Guerrero-Hernández et al., 2022). Los espaciadores comunes incluyen oligómeros de estireno o glicoles; sin embargo, el uso de polidimetilsiloxano (PDMS) como espaciador destaca por su flexibilidad estructural (enlaces Si-O-Si), alta estabilidad térmica y excelente capacidad de humectación (Hill, 2002; Chung et al., 2009).

A pesar de sus ventajas, la aplicación industrial de los tensoactivos Gemini basados en silicio enfrenta obstáculos. El PDMS puro es solo parcialmente soluble y puede inhibir catalizadores en el tratamiento posterior del crudo (Alzahid, 2018). Intentos previos para modificar su estructura han dependido de la hidroxilación con catalizadores de platino (Ni et al., 2009; Liang Z. et al., 2024) o procesos de síntesis multietapa que requieren purificaciones intermedias, lo que incrementa drásticamente los costos y tiempos de producción, limitando su escalabilidad (Lin et al., 2011). De esta manera, se hace necesario mejorar los métodos de síntesis de tensoactivos tipo Gemini.

Para superar estas limitaciones, este trabajo propone el uso de PDMS con grupos terminales diglicidil éter (PDMS-DGE). La ventaja crítica de este precursor es que permite la funcionalización directa mediante la reacción de apertura de anillo de los grupos epóxidos al reaccionar con alcoholes (u otros nucleófilos). Este mecanismo permite la formación del tensoactivo en una sola etapa, eliminando la necesidad de catalizadores metálicos y simplificando el proceso de síntesis.

Este trabajo reporta la síntesis en un solo paso, sin catalizador metálico, de un tensoactivo Gemini basado en PDMS-DGE y 1-octanol. La estructura fue caracterizada mediante Espectroscopía Infrarroja (FTIR) y Resonancia Magnética Nuclear ($^1\text{H-RMN}$), confirmando la exitosa apertura del anillo y la formación de la estructura Gemini. Finalmente, se evaluó su humectabilidad (método de gota sénil) y su CMC con la finalidad de validar su potencial para su probable uso en EOR.

2. Materiales y Método

2.1 Materiales

El poli(dimetilsiloxano) diglicidil éter (PDMS-DGE), el hexano y el 1-octanol fueron adquiridos en Sigma-Aldrich. Los dos primeros se utilizaron tal como se recibieron,

mientras que el 1-octanol fue destilado a presión reducida previo a su uso.

2.2 Síntesis

La síntesis del tensoactivo tipo Gemini a partir de PDMS-DGE (Figura 1) y 1-octanol se llevó a cabo en un matraz de fondo redondo equipado con agitación magnética, refrigerante y termómetro. Se añadieron 10 g de PDMS-DGE y 8 mL de 1-octanol; posteriormente, el sistema se purgó con nitrógeno durante 5 minutos. La reacción se realizó en un baño de aceite a 75 °C durante 5 horas, manteniendo una agitación constante de 400 rpm. Una vez finalizado el tiempo de reacción, la mezcla se extrajo con hexano (2 x 50 mL) para eliminar el alcohol residual. El producto obtenido se secó a presión reducida y, finalmente, se mantuvo en estufa a 80 °C durante 6 horas para asegurar la eliminación de disolventes.

2.3 Caracterización

La estructura química de los tensoactivos Gemini sintetizados se confirmó mediante FT-IR y $^1\text{H-RMN}$. Los espectros FT-IR se registraron en un intervalo de 4000 a 400 cm^{-1} utilizando un espectrómetro Nicolet iS50, equipado con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) con cristal de diamante y un promedio de 100 escaneos por muestra. El espectro de $^1\text{H-RMN}$ se obtuvieron en un espectrómetro Bruker Avance III HD de 400 MHz a temperatura ambiente ($\sim 25^\circ\text{C}$). La muestra se disolvió en CDCl_3 y los desplazamientos químicos (δ) se reportan en partes por millón (ppm) utilizando tetrametilsilano (TMS) como estándar interno.

2.4 Medición del ángulo de contacto

Las propiedades superficiales del tensoactivo se determinaron mediante la técnica de la gota sénil en un goniómetro Krüss modelo DSA100L. Se preparó una serie de soluciones de diversas concentraciones utilizando agua destilada (resistividad $\sim 1.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$). Antes de cada medición, los sustratos (portaobjetos de vidrio y teflón) se limpiaron con etanol y se secaron con aire comprimido libre de partículas. Se depositó una gota de 2 μL sobre cada superficie, permitiendo un tiempo de estabilización de 30 segundos antes de la captura de la imagen. El cálculo del ángulo se realizó mediante el método de ajuste de Young-Laplace. Todas las mediciones se realizaron por quintuplicado para garantizar la reproducibilidad.

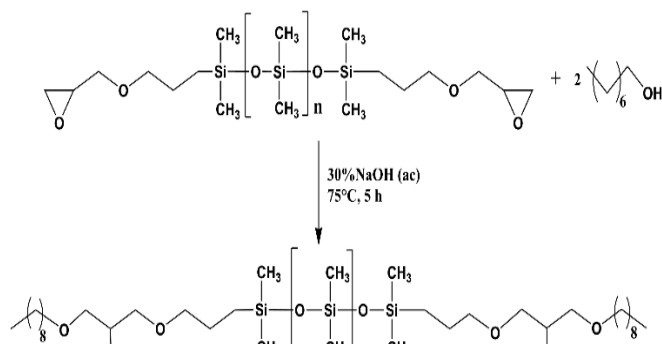


Figura 1: Síntesis del tensoactivo a partir de PDMS-DGE

3. Resultados

La síntesis del tensoactivo Gemini se llevó a cabo a través de una reacción de apertura de anillo del PDMS-DGE. En este proceso, el NaOH facilitó la formación del nucleófilo a partir de 1-octanol, el cual atacó los grupos epóxido para dar lugar a la estructura final. El rendimiento obtenido del 60% se considera moderado pero aceptable para esta ruta, ya que la naturaleza hidrofóbica del siloxano y la viscosidad del polímero limitan la transferencia de masa y favorecen impedimentos estéricos que dificultan una conversión total. Asimismo, este valor refleja una purificación rigurosa mediante extracción con hexano, técnica esencial para eliminar precursores remanentes y garantizar que las propiedades anfífilas del producto final no se vean alteradas por impurezas, obteniendo así una estructura equilibrada con grupos hidroxilo y cadenas alquílicas sobre el esqueleto de silicona.

3.1 Espectroscopía infrarroja

El análisis por FT-IR (Figura 2) confirmó la transformación química mediante la atenuación de la banda en 915 cm^{-1} , propia del anillo oxirano, y la persistencia de las señales del siloxano (Si-CH_3 en 1253 cm^{-1} y Si-O-Si en $1080\text{-}1014\text{ cm}^{-1}$). La incorporación de las cadenas del alcohol se ratifica por la presencia de tensiones C-H diferenciadas: una señal en 2961 cm^{-1} correspondiente a los grupos CH_3 y bandas intensas entre $2920\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ asignadas a los grupos $\text{-CH}_2\text{-}$ de la cadena alquílica. Finalmente, la banda ancha en $3300\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$ (O-H) valida la formación del producto.

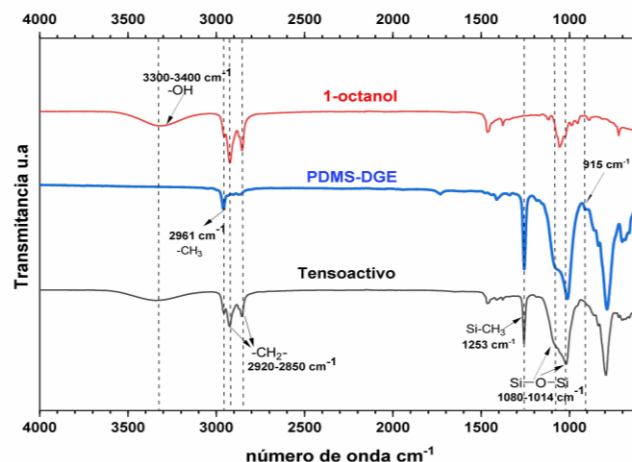


Figura 2: Espectro de IR-FT de, 1-octanol, PDMS-DGE, (reactivos) arriba y en medio, tensoactivo (producto) abajo

3.2 Espectroscopía de $^1\text{H-RMN}$

El espectro de $^1\text{H-RMN}$ del tensoactivo (Figura 4), registrado en CDCl_3 , confirmó la estructura propuesta y el éxito de la funcionalización. El desplazamiento más intenso, ubicado en el rango de $0.00\text{-}0.16\text{ ppm}$, se asignó a los protones de los grupos metilo del enlace Si-CH_3 (**a**), mientras que la señal en 0.516 ppm correspondió a los grupos $\text{-CH}_2\text{-}$ (**b**) adyacentes al silicio en el PDMS. La incorporación de las cadenas de 1-octanol se evidenció mediante los desplazamientos en 0.889 ppm (**k**) y 1.264 ppm (**j**), asignados a los protones de los grupos metilo terminales (-CH_3) y a los metilenos ($\text{-CH}_2\text{-}$) de la cadena alquílica, respectivamente.

Asimismo, la formación del nuevo enlace se confirmó por la aparición de señales entre 3.674 ppm (**h**, **i**), atribuidas a los protones de los metilenos ($\text{CH}_2\text{-O}$), y una señal en 3.869 ppm correspondiente al protón metino y al grupo hidroxilo (-OH) del nuevo centro hidroxilado (**f**, **g**). Finalmente, la ausencia de señales en 2.55 y 3.15 ppm (figura 3), descritas en la literatura para los protones del grupo oxirano ($\text{-CH}_2\text{-}$ y -CH- del epóxido), demuestra la apertura total del anillo del precursor PDMS-DGE (Arcos-Casarrubias et al., 2022; Yang et al., 2025).

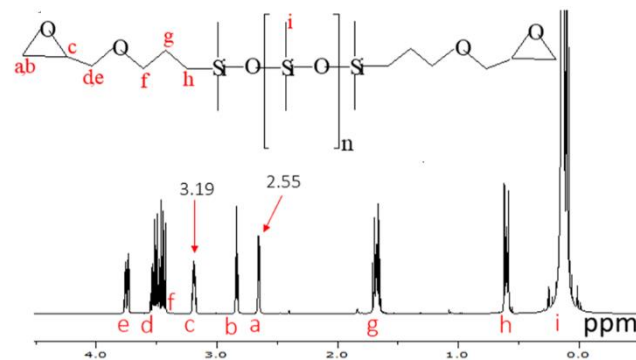


Figura 3: Espectro de $^1\text{H-RMN}$ de PDMS-DGE tomado de Viscoelastic behavior and toughness of the DGEBA epoxy resin with 1,2-diaminocyclohexane: effect of functionalized poly(dimethylsiloxane), diglycidyl ether, PDMS-DGE, pre-reacted with 1,2-diaminocyclohexane, por Arcos-Casarrubias et al., (2022) Polymer Bulletin 79, 2871–2901. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03607-y>

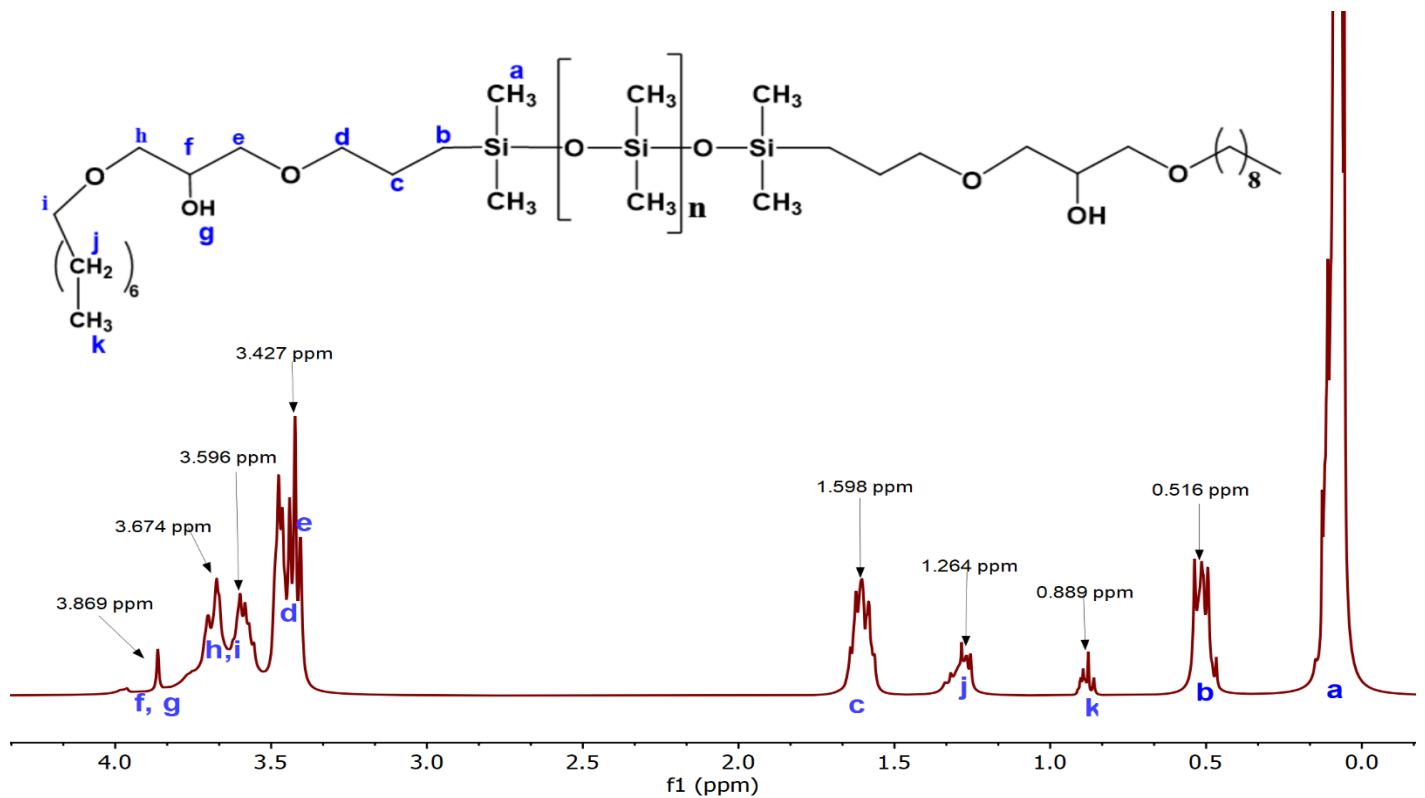


Figura 4: Espectro de ^1H RMN del tensoactivo sintetizado

3.3 Ángulo de Contacto

La medición del ángulo de contacto permite caracterizar la humectabilidad entre una fase sólida y una líquida. Un valor de $< 90^\circ$ indica una alta humectabilidad, donde el líquido se extiende sobre la superficie; por el contrario, un $> 90^\circ$ denota una baja humectabilidad. En la Figura 3 se presentan los ángulos de contacto medidos para una solución del tensoactivo 10 mM sobre dos superficies con energías superficiales contrastantes: vidrio y teflón. En el portaobjetos de vidrio (Figura 5a), el ángulo es significativamente inferior a 90° . Este comportamiento se debe a que las fuerzas de adhesión entre los grupos funcionales del vidrio y la solución son superiores a las fuerzas de cohesión internas del líquido, favoreciendo el esparcimiento de la gota.

En contraste, sobre la superficie de teflón (Figura 5b), el ángulo de contacto supera los 90° , manifestando una baja humectabilidad. Esto ocurre debido a la naturaleza altamente hidrofóbica y la baja energía superficial del politetrafluoroetileno (PTFE), que induce a la gota a adoptar una geometría esférica para minimizar el contacto con el sólido.

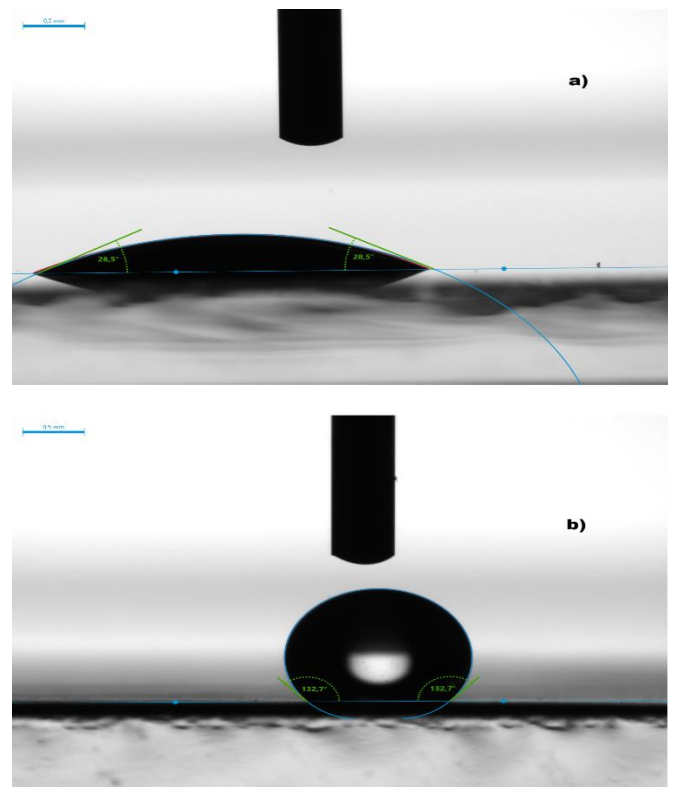


Figura 5: Ángulo de contacto a una concentración del tensoactivo 10 mM en a) portaobjetos de vidrio, b) en una cinta de Teflón.

Los resultados recopilados en la Tabla 1 muestran que el ángulo de contacto del H₂O pura, tanto en vidrio como en teflón, es superior al de las disoluciones de tensoactivo. Se observa una relación inversamente proporcional entre la concentración del tensoactivo y el ángulo de contacto: a medida que aumenta la concentración, el ángulo disminuye progresivamente. Este fenómeno se atribuye a la adsorción de las moléculas del tensoactivo Gemini en la interfase líquido-sólido y líquido-aire, reduciendo la tensión superficial de la solución y facilitando el mojado de las superficies, incluso en aquellas de carácter hidrofóbico como el teflón.

Tabla 1: Ángulos de contacto a diferentes concentraciones del tensoactivo

Concentración mM	Vidrio (°)	Teflón (°)
10	28.5	132.7
9	27.8	132.5
7	28.1	132.8
5	29.1	132.6
3	30.3	132.5
2	30.4	132.7
1	31.9	133.0
0.5	34.4	134.0
0.25	36.6	135.7
0.1	41.4	136.9
0.05	53.5	141.9
H ₂ O	56.5	142.5

4. Discusión

4.1 Síntesis

Aunque ambas técnicas son complementarias, la ¹H-RMN resulta más concluyente que el FT-IR para garantizar la ausencia de reactivos residuales y la pureza del tensoactivo. Mientras que el FT-IR es una herramienta cualitativa excepcional para identificar la aparición de grupos funcionales (como la banda O-H de la apertura del anillo), presenta limitaciones debido al solapamiento de bandas; por ejemplo, las señales de los grupos CH₂ y CH₃ del reactivo PDMS-DGE y del producto son prácticamente indistinguibles en el espectro infrarrojo. Además, la banda de 915 cm⁻¹ del anillo oxirano tiene un coeficiente de absorción molar que puede dificultar la detección de trazas mínimas de epóxido remanente, dando una falsa sensación de conversión total. Por el contrario, la ¹H-RMN ofrece una resolución superior al permitir el seguimiento de protones específicos en entornos químicos únicos.

La desaparición de los desplazamientos en 2.55 y 3.15 ppm es una prueba inequívoca de la apertura del epóxido, ya que estos protones se encuentran en una región del espectro libre de interferencias por parte del esqueleto de siloxano. Además, no se encontró en el espectro de ¹H-RMN, la señal en 2.4 ppm correspondiente al -OH del 1-octanol sin reaccionar, por lo cual se puede considerar que la purificación con hexano fue exitosa.

4.2 Ángulo de contacto

En términos de desempeño, los resultados confirman la teoría de que cadenas hidrofóbicas más largas favorecen una disminución del ángulo de contacto, aumentando así la humectabilidad del sistema (Li et al., 2013). Como se observa en la Tabla 1 y las Figuras 6 y 7, el ángulo de contacto es significativamente menor al del agua pura y decrece progresivamente con el aumento de la concentración, demostrando una excelente capacidad de humectabilidad.

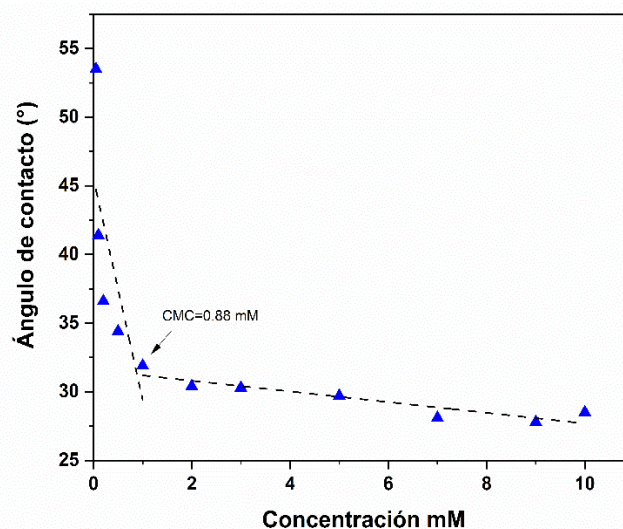


Figura 6: Ángulo de contacto a diferentes concentraciones del tensoactivo en vidrio.

Este descenso del ángulo de contacto no es infinito; al superar un umbral específico, el valor se estabiliza, señalando la saturación de la interfase y el inicio de la formación de micelas. Siguiendo el método reportado de Alkawareek et al. (2018), se determinó mediante la intersección de regresiones lineales que la Concentración Micelar Crítica (CMC) del PDMS-DGE-C8 es de 0.88 mM.

La determinación de la CMC se realizó mediante el método de intersección de regresiones lineales debido a su capacidad para delimitar con precisión la transición entre el régimen de adsorción interfacial y el inicio de la agregación molecular. Este enfoque matemático compensa las fluctuaciones experimentales y define el umbral de saturación de la superficie de manera estadística, permitiendo una comparación objetiva con los valores reportados en la literatura para sistemas basados en siloxanos.

Al contrastar este valor con la literatura (Tabla 2), se observa que se posiciona de manera lógica entre los homólogos de 6 y 12 carbonos, validando que la hidrofobicidad del sistema es predecible: a mayor longitud de cadena alquílica, menor es la energía libre necesaria para la micelización.

Notablemente, el PDMS-DGE-C8 muestra una CMC menor que tensoactivos convencionales como el CTACB (0.92 mM) y el Gemini dicatiónico de Kamal (1.01 mM). Esta capacidad de formar micelas a concentraciones bajas es fundamental para la EOR. Una CMC baja y alta humectabilidad, no solo optimiza los costos operativos con

menor dosificación, sino que garantiza una mayor eficiencia para movilizar crudo atrapa en los poros de yacimientos (Belhaj A. F. et al, 2019).

Tabla 2: Comparación de valores de CMC

Tensoactivo	CMC (mM)	Referencia
PDMS-C6-Gemini	1.57	Li et al., 2013
PDMS-C12-Gemini	0.061	Li et al 2013
PDMS-DGE-C8	0.88	Este trabajo
CTACB	0.92	Alkawareek et al., 2018
$C_6H_{12}(C_{12}H_{25}N^+Me_2Br)_2$	1.01	Kamal, 2015

Si bien la CMC obtenida es prometedora para EOR, la aplicabilidad real en yacimientos requiere considerar factores de estrés químico y físico. Por lo cual, aunque la estructura de siloxano sugiere una buena resistencia, es necesario realizar estudios de estabilidad térmica a temperaturas superiores a 80°C y evaluar la tolerancia a la salinidad, específicamente ante iones divalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} . Estos análisis constituyen el trabajo futuro necesario para validar el uso de este tensoactivo en entornos de alta salinidad y temperatura, donde la precipitación o degradación térmica suelen limitar el uso de tensoactivo convencionales.

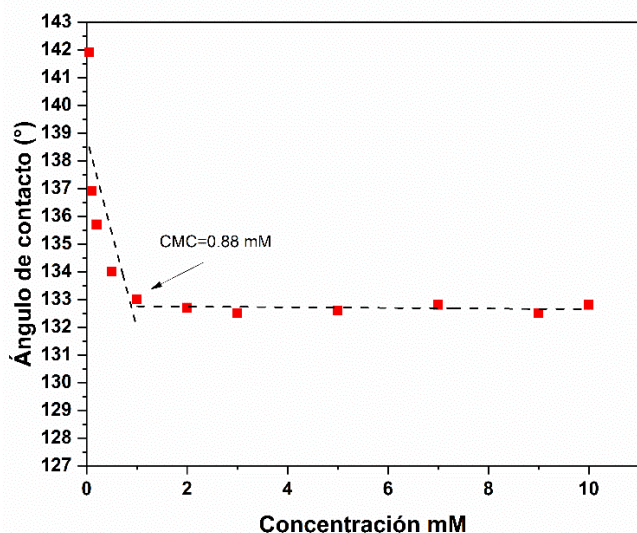


Figura 7: Ángulo de contacto a diferentes concentraciones del tensoactivo en teflón.

Conclusiones

La presente investigación logró la síntesis exitosa de un tensoactivo Gemini no iónico basado en polidimetilsiloxano (PDMS) mediante la apertura nucleofílica de grupos diglicidil éter con 1-octanol en un solo paso y libre de catalizadores metálicos. Sin embargo, un punto a mejorar es el rendimiento moderado de 60% de la reacción, se sugiere optimizar el tiempo de reacción, teniendo especial cuidado en el control de temperatura, para evitar reacciones secundarias. Las reacciones secundarias en este estudio fueron prevenidas exitosamente obteniendo un producto de alta pureza, mediante

un monitoreo constante de la temperatura durante 5 horas y una purificación adecuada.

El tensoactivo sintetizado tiene una alta humectabilidad y una CMC de 0.88 mM, valor comparable a análogos reportados.

No obstante, para consolidar su implementación en condiciones reales de un yacimiento, es imperativo que los trabajos futuros se enfoquen en evaluar su estabilidad térmica y química, sus propiedades reológicas y su eficiencia en desplazamientos de crudo en medios porosos.

En conjunto, este trabajo establece una base sólida para el diseño de tensoactivos Gemini a base de PDMS, de alto desempeño y bajo requerimiento de dosificación para la industria energética

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México el apoyo financiero otorgado para la realización de este proyecto, a través de la convocatoria “Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2025”.

Los autores agradecen a la Dra. Perla Yolanda Castillo Villalón por facilitar el uso del espectrómetro de FT-IR.

Al Dr. Alfredo Cruz Rosado por su valioso apoyo en la revisión de este artículo.





Referencias

- Alzahid, Y. A.1, Mostaghimi, P., Gerami, A., Singh, A., Privat, K., Amirian T., Armstrong, R. T. (2018) Physio-Chemical Analysis of Amide and Amine. *Scientific Reports*, 8, 15518 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33495-8>.
- Alcalde, M.A., Jover, A., Meijide, F., Galantini, L., Pavel, N.V., Antelo, A., Tato, J.V. (2008) Synthesis and characterization of a new gemini surfactant derived from 3 α ,12 α -dihydroxy-5-cholan-24-amine (steroid residue) and ethylenedi-amintetraacetic acid (spacer), *Langmuir* 24 6060–6066.
- Alkawareek, M. Y., Akkelah, B. M., Mansour, S. M., Amro, H. M., Abulateefeh, S. R., Alkilany, A. M. (2018) Simple Experiment to Determine Surfactant Critical Micelle Concentrations Using Contact-Angle Measurements, *J. Chem. Educ.*, 95(12) 2227–2232. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00276>
- Ang, A.W., Jiang, L., Mao, G., Liu, Y. (2002) Direct force measurement of silicone- and hydrocarbon-based ABA triblock surfactants in alcoholic media by atomic force microscopy, *J. Colloid Interface Sci.* 256, 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.09.032>
- Arcos-Casarrubias, J. A., Vázquez-Torres, H., Granados-Olvera, J. A., Cedeño, J. A., Cervantes-Uc, J. M. (2022) Viscoelastic behavior and toughness of the DGEBA epoxy resin with 1,2-diaminocyclohexane: effect of functionalized poly(dimethylsiloxane), diglycidyl ether, PDMS-DGE, pre-reacted with 1,2-diaminocyclohexane, *Polymer Bulletin* 79, 2871–2901. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03607-y>
- Belhaj, A. F., Elraies, K. A., Alnarabiji, M. S., Shuhli, J. A. B. M., Mahmood, S. M., Ern, L. W. (2019). Experimental Investigation of Surfactant Partitioning in Pre-CMC and Post-CMC Regimes for Enhanced Oil Recovery Application. *Energies*, 12(12), 2319. <https://doi.org/10.3390/en12122319>
- Chung, D.W., Lim, J.C., (2009) Study on the effect of structure of polydimethylsiloxane grafted with polyethyleneoxide on surface activities, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects* 336, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.11.020>
- Guerrero-Hernández, L., Meléndez-Ortiz, H.I., Cortez-Mazatan, G.Y., Vaillant-Sánchez, S., Peralta-Rodríguez, R.D. (2022) Gemini and Bicephalous Surfactants: A Review on Their Synthesis, Micelle

- Formation, and Uses. *Int. J. Mol. Sci.* 23, 1798. <https://doi.org/10.3390/ijms23031798>
- Hassan, A., Jumbri, K., Ramli, A., Borhan, N. (2021) Poly(dimethylsiloxane)-Modified Defoamer for Efficient Oil–Water Separation, *ACS Omega*, 6, 14806-1418. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00350>
- Hernandez, J.D., Gama G. (2024), Synergy between surfactants' stiffness and concentration on their self-assembly into reverse micelles as water droplet carriers in nonpolar solvents, *PLoS ONE* 19(2): e0294913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294913>
- Hill, R.M., (2002), Silicone surfactants new development, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 7, 255–261. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(02\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(02)00068-7)
- Kamal, M. S. A (2015), Review of Gemini Surfactants: Potential Application in Enhanced Oil Recovery, *J Surfact Deterg.*, 19 (2), 223-236. <https://doi.org/10.1007/s11743-015-1776-5>
- Liang, Z., Peng, J., Xu, Y., Wang, H., (2024) Synthesis and properties of carboxyl-modified polyether block silicone surfactants. *Polym. Bull.* 81, 17253–17264. <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05518-0>
- Lin, L., Chee-Chan, W., Keng-Ming, C., Po-Chang, L. (2011) Synthesis and physicochemical properties of nonionic Gemini surfactants with a sulfonate spacer. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 386, 65–70 <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.06.031>
- Lin, L., Chee-Chan, W., Keng-Ming, C., Po-Chang L. (2013) Synthesis and physicochemical properties of silicon-based gemini surfactants, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 436, 881-889. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.06.031>
- Ni, X., Yuan, G. M., Chen, S. L., Cheng, Y. (2009) Synthesis and compounding of polyether modified polysiloxane crude oil defoamer. *Oilfield Chem.*, 26, 153–157.
- Raupov, I., Rogachev, M., Shevaldin, E. (2025). Review of Formation Mechanisms, Localization Methods, and Enhanced Oil Recovery Technologies for Residual Oil in Terrigenous Reservoirs. *Energies*, 18(21), 5649. <https://doi.org/10.3390/en18215649>
- Stevens, C.V., Merigg, A., Eristeropoulou, M., Christov, P.P., Booten, K., Levecke, B., Vandamme, A., Pittevels, N., Tadros, T.F. (2001) Polymeric surfactants based on inulin, apolysaccharide extracted from chicory. 1. Synthesis and interfacial properties, *Biomacromolecules* 2, 1256–1259.
- Pérez, L., Pinazo, A., Pons, R., Infante, M-R. (2014) Gemini surfactants from natural amino acids, *Advances in Colloid and Interface Science*, 205, 134-155. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.10.020>
- Yang, Z., Xuan, W., Yixiao, S., Dan, L., Jiaen Q., Chuan, W., Hong, D., Qinghua, P., Zhirong, Q., and Yanjiang S. (2025) Epoxy-Functionalized Polysiloxane and DOPO Synergistically Enhance Flame Retardancy of Epoxy Resin Composites, *ACS Applied Polymer Materials* 7 (8) 5198-5211 <https://doi.org/10.1021/acsapm.5c00531>

↑

Análisis Cluster para detectar patrones específicos entre usuarios de la banca de seguros para identificar posibles fraudes

Abraham-Jorge Jiménez-Alfaro ^{a,b}, Norma-Karen Valencia-Vázquez ^b, Griselda Cortés-Barrera ^a, Edgar Corona-Organiche ^a

^a Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México/TES Ecatepec, Laboratorio Nacional Conahcyt en Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos (LNC-IACD) Valle de Anáhuac, 55210 Ecatepec de Morelos, Estado de México.

^b Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México/TES Chimalhuacán, Calle primavera S/N, 56330, Chimalhuacán, Estado de México.

Resumen

El crecimiento acelerado de los servicios financieros digitales ha incrementado de manera significativa la cantidad y complejidad de los datos generados por los usuarios, lo que ha reducido la efectividad de los métodos tradicionales de detección de fraude basados en reglas fijas. En este contexto, las técnicas de aprendizaje no supervisado ofrecen alternativas flexibles para el análisis exploratorio de grandes volúmenes de información. El presente estudio propone un enfoque basado en técnicas de clustering para identificar patrones de comportamiento atípicos asociados a posibles fraudes en la banca de seguros. Para ello, se emplean los algoritmos k-means y clustering jerárquico sobre un conjunto de datos obtenido a partir de una encuesta estructurada aplicada a más de mil usuarios. Los resultados muestran la existencia de grupos claramente diferenciados, donde los conglomerados minoritarios y alejados de los centroides principales representan señales tempranas de riesgo que pueden apoyar los procesos de auditoría, control interno y toma de decisiones en instituciones aseguradoras.

Palabras clave: Aprendizaje no supervisado, clustering, detección de anomalías, banca de seguros, fraude

Abstract

The rapid expansion of digital financial services has significantly increased both the volume and complexity of user-generated data, thereby reducing the effectiveness of traditional rule-based fraud detection approaches. In this context, unsupervised learning techniques provide flexible alternatives for exploratory data analysis. This study proposes a clustering-based analytical framework to identify atypical behavioral patterns associated with potential fraud in insurance banking. The k-means and hierarchical clustering algorithms are applied to data collected through a structured survey conducted with more than one thousand insurance banking users. The results reveal the presence of distinct behavioral groups, where minority clusters located far from the main centroids act as early indicators of risk, supporting auditing, internal control, and decision-making processes within insurance institutions.

Keywords: Unsupervised learning, clustering, anomaly detection, insurance banking, fraud

1. Introducción

La digitalización de los servicios financieros ha transformado profundamente la manera en que los usuarios interactúan con las instituciones aseguradoras. El uso generalizado de plataformas electrónicas, aplicaciones móviles y sistemas automatizados ha dado lugar a entornos caracterizados por grandes volúmenes de datos heterogéneos, generados de forma continua y a alta velocidad. Este escenario ha incrementado la complejidad de los procesos de análisis y ha favorecido la aparición de nuevas modalidades

de fraude, cada vez más difíciles de detectar mediante mecanismos tradicionales.

El fraude en sistemas de pólizas de seguros representa un problema creciente para las organizaciones financieras y comerciales. Las técnicas tradicionales de detección basadas en reglas resultan insuficientes ante patrones complejos y cambiantes. El aprendizaje no supervisado, particularmente el clustering, ha demostrado ser eficaz para descubrir estructuras ocultas en los datos (Jain, Murty and Flynn, 1999).

*Autor para la correspondencia: ajimenez@tese.edu.mx

Correo electrónico: ajimenez@tese.edu.mx (Abraham-Jorge Jiménez-Alfaro), karenvalencia@teschi.edu.mx (Norma-Karen Valencia-Vázquez) gcortes@tese.edu.mx (Griselda Cortés-Barrera), ecorona@tese.edu.mx (Edgar Corona-Organiche).

Los enfoques clásicos para la detección de fraude, basados en reglas estáticas o modelos supervisados, dependen en gran medida de patrones previamente conocidos y de conjuntos de datos etiquetados. Sin embargo, estas estrategias presentan limitaciones importantes en entornos reales, donde los comportamientos fraudulentos cambian constantemente y los datos etiquetados suelen ser escasos, incompletos o costosos de obtener. En este contexto, las técnicas de aprendizaje no supervisado emergen como una alternativa robusta para el análisis exploratorio de grandes volúmenes de datos, permitiendo descubrir estructuras ocultas sin requerir conocimiento previo de las clases (West et al., 2016); entre estas técnicas, el clustering o análisis de conglomerados se ha consolidado como una herramienta fundamental para identificar patrones de comportamiento entre consumidores (MacQueen, 1967; Everitt et al., 2011; Zimek et al., 2012).

El clustering permite agrupar elementos con características similares en función de variables como frecuencia de consumo, montos de transacción, monto de reclamos para una póliza de seguro, horarios de actividad, ubicación geográfica o uso de dispositivos para efectuar el reclamo. A partir de esta segmentación, es posible identificar grupos minoritarios o aislados que presentan comportamientos atípicos, los cuales pueden estar asociados a actividades fraudulentas o de alto riesgo. La relevancia del clustering en la detección de fraudes radica en su capacidad para adaptarse a escenarios dinámicos y altamente complejos. Al no depender de etiquetas predefinidas, estos métodos pueden detectar nuevas modalidades de fraude que aún no han sido formalmente identificadas. Estudios previos han demostrado que los algoritmos de clustering, como k-means, clustering jerárquico y métodos basados en densidad, son eficaces para el análisis de anomalías y la identificación de outliers en datos de consumo (Jain et al., 1999; Aggarwal, 2017).

El objetivo de este trabajo es aplicar un modelo de análisis basado en técnicas de clustering que facilite la identificación de patrones de comportamiento relevantes para la detección temprana de posibles fraudes en la banca de seguros. Para ello, se presenta una metodología cuantitativa, el desarrollo matemático del modelo y un análisis interpretativo de los resultados obtenidos, con el propósito de contribuir al fortalecimiento de los procesos de evaluación y toma de decisiones en instituciones aseguradoras. El estudio busca contribuir al desarrollo de estrategias más flexibles y eficientes para la detección temprana de fraudes en sistemas de consumo modernos, las pólizas de seguros (Chandola et al., 2009; Ngai et al., 2011).

2. Materiales y Método

El Análisis Cluster, conocido como Análisis de Conglomerados, es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos (Xu & Wunsch, 2009).

El análisis adopta un enfoque cuantitativo y exploratorio, basado en técnicas de aprendizaje no supervisado, se centra en la identificación de patrones de comportamiento a partir de variables demográficas y financieras, sin asumir previamente la existencia de categorías de fraude.

El análisis de conglomerados es un método de carácter exploratorio cuyo propósito es identificar subconjuntos de observaciones con comportamientos similares, maximizando la cohesión interna de cada grupo y la diferenciación respecto a otros grupos, a partir de la información contenida en los propios datos. A partir de estructuras de casos-variables, trata de situar los casos (elementos) en grupos homogéneos, conglomerados o clusters, no conocidos de antemano, pero sugeridos por la propia esencia de los datos, de manera que elementos que puedan ser considerados similares sean asignados a un mismo cluster, mientras que otros diferentes (disimilares) se localicen en clusters distintos (Kaufman and Rousseeuw, 2005).

La diferencia esencial con el análisis discriminante consiste en que en este análisis es necesario especificar previamente los grupos por un camino objetivo. El análisis cluster define grupos tan distintos como sea posible en función de los propios datos. La creación de grupos basados en similitud de casos exige una definición de este concepto, o de la complementaria distancia entre los elementos. La variedad de formas de medir diferencias multivariantes o distancias entre casos proporciona diversas posibilidades de análisis. El empleo de ellas, y el de las que continuamente siguen apareciendo, así como, de los algoritmos de clasificación, o diferentes reglas matemáticas para asignar los elementos a distintos grupos, depende del aspecto estudiado y del conocimiento previo de posible agrupamiento que de él se tenga. Puesto que la utilización del análisis cluster ya implica un desconocimiento o conocimiento incompleto de la clasificación de los datos, el investigador ha de ser consciente de la necesidad de emplear varios métodos con el fin de contrastar los resultados (Han et al., 2012).

Para Kaufman (2005) existen dos grandes tipos de análisis de clusters: no jerárquicos y jerárquicos. Se conocen como no jerárquicos a aquellos que asignan los casos o grupos diferenciados que el propio análisis configura, sin que unos dependan de otros. Los métodos no jerárquicos pueden, a su vez, producir clusters disjuntos (cada caso pertenece sólo a un cluster), o bien clusters solapados (un caso puede pertenecer a más de un grupo). Estos últimos de difícil interpretación, son poco utilizados. Se denominan jerárquicos a los que configuran grupos con estructura arborescente, de forma que clusters de niveles más bajos van siendo englobados en otros clusters de

niveles superiores.

Para Tan et al. (2016) una vez finalizado un análisis de clusters, el investigador dispondrá de una colección de casos agrupada en subconjuntos jerárquicos o no jerárquicos. Podrá aplicar técnicas estadísticas comparativas convencionales siempre que lo permita la relevancia práctica de los grupos creados; así como, otras pruebas multivariantes, para las que ya contará con una variable dependiente grupo, aunque haya sido creada artificialmente. Sugiere un proceso para estructurar el análisis de cluster:

2.1.- Elección de variables

Dependiendo del problema las variables pueden ser cualitativas (Ordinales y Nominales) y cuantitativas (discretas y continuas).

2.2.- Elección de la medida de asociación

Para poder unir variables es necesario tener algunas medidas numéricas que caractericen las relaciones entre las variables. Cada medida refleja asociación en un sentido particular y es necesario elegir una medida apropiada para el problema concreto que se esté tratando.

La medida de asociación puede ser una distancia o una similitud:

- Cuando se elige una distancia como medida de asociación los grupos formados contendrán elementos parecidos de forma que la distancia entre ellos tiene que ser pequeña.
- Cuando se elige una medida de similitud los grupos formados contendrán elementos con una similitud alta entre ellos. La correlación de Pearson y los coeficientes de Spearman y de Kendall son índices de similitud.

2.3.- Elección de la técnica de Cluster por Métodos Jerárquicos

Agrupar el cluster para formar uno nuevo o separar alguno ya existente para dar origen a otros dos de forma que se maximice una medida de similitud o se minimice alguna distancia, la asociación establecida es:

- Asociativos o Aglomerativos: Se parte de tantos grupos como elementos hay en el estudio y se van agrupando hasta llegar a tener todos los casos en un mismo grupo.
- Disociativos: Se parte de un solo grupo que

contiene todos los casos y a través de sucesivas divisiones se forman grupos cada vez más pequeños.

Los métodos jerárquicos permiten construir un árbol de clasificación o dendograma El algoritmo k-means busca minimizar la suma de distancias cuadráticas dentro de cada grupo.

3. Resultados

Los datos fueron procesados y analizados mediante herramientas computacionales desarrolladas en Python, enfocadas en la exploración estructurada de la información y la identificación de patrones de comportamiento de los usuarios que solicitan pólizas de seguro. El análisis permitió caracterizar el perfil de uso y los hábitos para el fraude de los usuarios. La elección de este enfoque se fundamenta en la ausencia de etiquetas confiables de fraude y en la naturaleza dinámica de los comportamientos de consumo, lo cual hace inviable el uso exclusivo de modelos supervisados. Al caracterizar tendencias generales, comparar comportamientos entre distintos grupos de usuarios y examinar la relación funcional entre variables relevantes permite apoyar la interpretación integral de los datos y la toma de decisiones.

El proceso de análisis (Hand et al., 2001; Bishop, 2006; Tan et al., 2016), se estructuró en las siguientes etapas:

1. Preparación de los datos.
2. Normalización de variables.
3. Cálculo de medidas de distancia.
4. Aplicación del algoritmo k-means.
5. Clustering jerárquico aglomerativo.

3.1.- Preparación de los datos

Sea un conjunto de datos compuesto por n consumidores de pólizas de seguros, donde cada consumidor está descrito por un vector de características multidimensional:

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Donde p representa el número de variables observadas, tales como:

1. Monto promedio de transacciones.
2. Frecuencia de consumo.
3. Horario de actividad.
4. Ubicación geográfica.
5. Ingreso.
6. Edad.
7. Monto de reclamación.
8. Otros.

El conjunto completo de datos puede representarse como una matriz:

$$X \in R^{n \times p} \quad (2)$$

3.2.-Normalización de variables

Dado que las variables pueden estar medidas en diferentes escalas, se aplica una normalización tipo z-score para evitar sesgos en el cálculo de distancias:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \quad (3)$$

3.3.- Medidas de distancia

El criterio fundamental del clustering es la medición de similitud entre observaciones. En este estudio se emplea principalmente la distancia euclidiana, definida como:

$$d(x_i, x_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{kj})^2} \quad (4)$$

3.4.- Algoritmo k-means

El algoritmo k-means busca particionar el conjunto de datos en k clusters disjuntos C_1, C_2, \dots, C_k minimizando la función objetivo conocida como suma de cuadrados intracluster:

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (5)$$

μ_i es el centroide del cluster C_i , calculado como:

$$\mu_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x \in C_i} x \quad (6)$$

El algoritmo opera de manera iterativa siguiendo estos pasos:

1. Inicialización de k centroides.
2. Asignación de cada observación al centroide más cercano.
3. Recálculo de los centroides.
4. Repetición hasta la convergencia del criterio J .

3.5.-Clustering jerárquico aglomerativo

Como método, se emplea el clustering jerárquico aglomerativo, el cual no requiere especificar previamente el número de clusters. La distancia entre clusters puede definirse mediante distintos criterios. En este análisis se considera el método de enlace promedio:

$$d(C_a, C_b) = \frac{1}{|C_a||C_b|} \sum_{x \in C_a} \sum_{y \in C_b} d(x, y) \quad (7)$$

Se realizó un análisis orientado a la exploración integral de la información obtenida a partir de una encuesta estructurada aplicada a más de mil usuarios de servicios de banca de seguros. El estudio se centró en identificar patrones de comportamiento y relaciones relevantes entre las variables, con especial énfasis en los reclamos asociados a pólizas de seguro.

La información recolectada consideró aspectos demográficos y financieros de los usuarios, tales como edad, nivel de ingresos, frecuencia de uso del servicio, horarios de actividad y montos de reclamación, con el propósito de comprender la dinámica del uso de los servicios y apoyar el proceso de interpretación de los resultados. El análisis de los datos muestra que hay tres conjuntos de picos para los montos de las reclamaciones con centros iniciales en 10,000; 20,000 y 30,000. En esta primera aproximación es necesario complementar el análisis de relaciones entre variables para identificar si hay alguna correlación entre diferentes comportamientos o prácticas de los consumidores, véase figura 1.

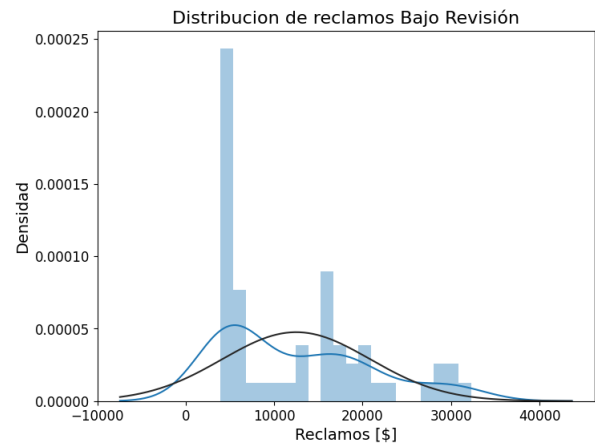


Figura 1: Distribución normal de los reclamos.

Aplicando un análisis más profundo con los diagramas de dispersión de reclamos, véase figura 2, se puede observar que hay un grupo alto de reclamos alrededor del rango de ingresos de \$30,000 a \$40,000 en el gráfico de reclamos frente a ingresos, lo que podría deberse al hecho de que el ingreso medio es de

aproximadamente \$30,000 a \$40,000; también hay una franja de reclamos de \$50,000 a \$100,000 que representa el ingreso alto. Hay una franja de reclamos por al menos \$20,000 entre personas que solo ganan \$10,000, lo cual es inusual y bien puede consistir en reclamos fraudulentos.

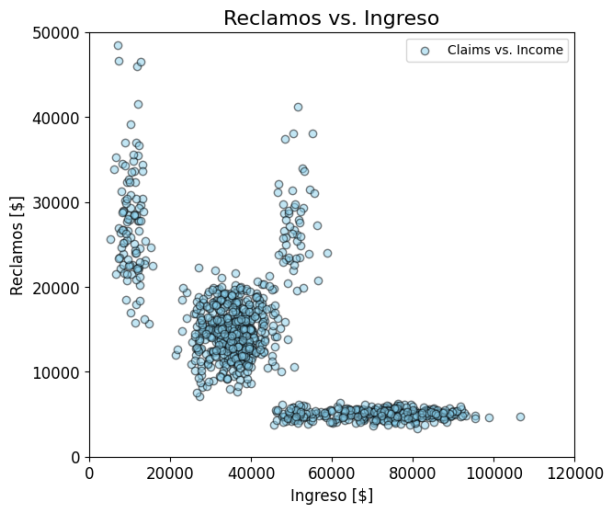


Figura 2: Reclamos contra ingresos.

En el gráfico de dispersión edad frente a ingresos, hay una franja de personas que ganan \$10,000 en todas las edades (salario mínimo), un gran grupo de personas que ganan entre \$30,000 a \$40,000 en todas las edades (salario medio) y hay más personas de mayores ingresos (\$60,000 a \$100,000) justo antes de los 60 años, lo que implicaría los ahorros a esas edades, véase figura 3.

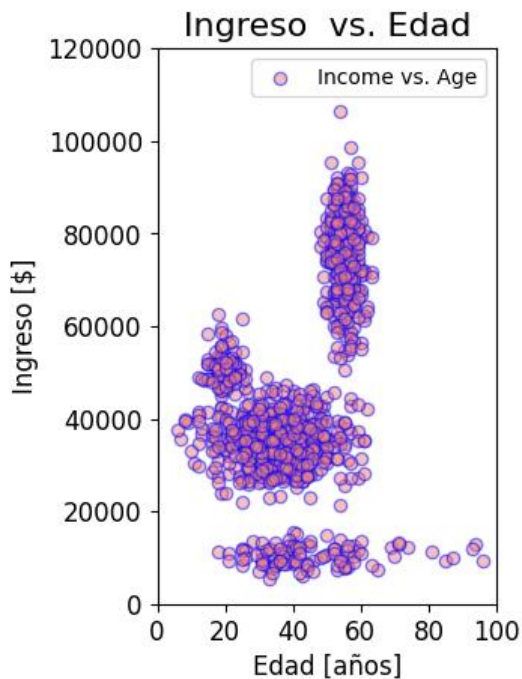


Figura 3: Reclamos Ingreso contra Edad.

En las visualizaciones anteriores, existen distintas poblaciones de elementos en función de las relaciones entre las reclamaciones y los ingresos, y los ingresos y la edad, el modelo de agrupamiento permitió resumir y detectar relaciones potencialmente interesantes. Hay muchas variaciones de agrupación, la empleada en el análisis es K-means clustering. El algoritmo empleado separa el conjunto de datos dado en grupos que minimizan la suma de los cuadrados de las distancias entre cada par de puntos en el grupo (Aggarwal, 2017; Zimek et al., 2012). Para determinar el número de clusters se empleó el método del codo, con resultado en $k=4$ los clusters óptimos, basados en los datos recabados, véase figura 4.

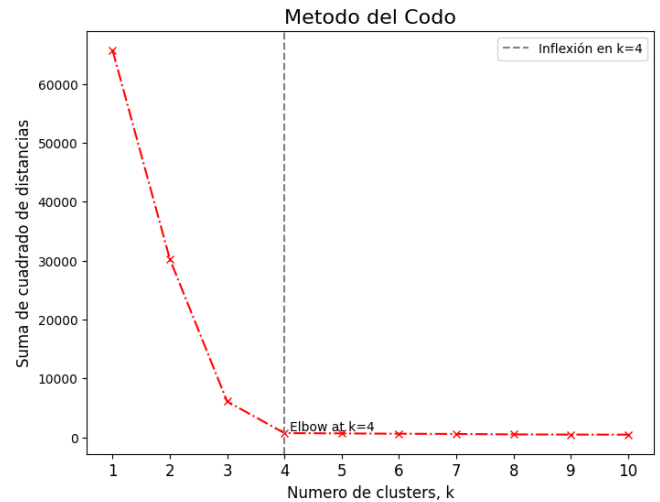


Figura 4: Gráfica del método del codo para determinar el número de k clusters.

El análisis de relaciones entre variables identifica si hay alguna relación entre diferentes comportamientos o prácticas de los consumidores. Los pasos que se pueden resumir de la siguiente manera:

- 1.- Inicialización. Para comenzar, se deben seleccionar $k=4$.
- 2.- Asignación. Cada punto de datos se asigna al grupo correspondiente al centroide más cercano.
- 3.- Actualización. Una vez que todos los puntos de datos se han asignado a sus respectivos conglomerados, se calcula un nuevo centroide para cada conglomerado tomando la media de todos los puntos en ese conglomerado.

El análisis confirma que el clustering permite la detección temprana de anomalías que requieren análisis complementarios (Hastie et al., 2009; Fawcett and Provost, 1997). La selección de variables y métricas de distancia influye directamente en la calidad de los clusters obtenidos (Tan et al., 2016). Con base en los datos normalizados se obtienen los siguientes clusters, véase figura 5, en donde hay 4 grupos:

1. Altos ingresos y bajos reclamos.
2. Ingresos moderados y reclamos moderados.
3. Ingresos moderados y reclamos elevados.
4. Bajos ingresos y altos reclamos.

Ingreso vs. Reclamos - Normalizado (por Cluster)

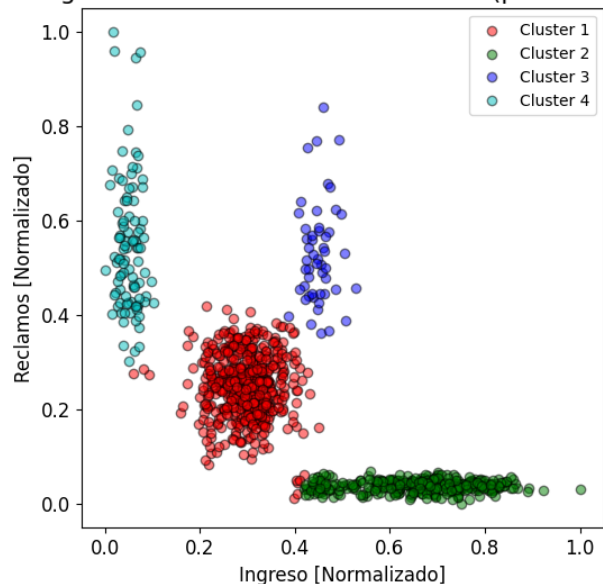


Figura 5: Cuatro clusters con el método de agrupamiento.

Los resultados obtenidos evidencian la capacidad del clustering para segmentar a los usuarios de la banca de seguros en grupos con perfiles de comportamiento diferenciados. Los clusters mayoritarios representan patrones esperados de uso del servicio, mientras que los conglomerados minoritarios concentran observaciones con características inusuales.

4. Discusión

El análisis de los datos permitió identificar cuatro grupos de comportamiento claramente diferenciados. Los clusters principales agrupan a usuarios con perfiles coherentes entre nivel de ingresos y montos de reclamación, lo cual sugiere comportamientos consistentes con prácticas habituales en la banca de seguros. Por otro lado, los clusters minoritarios presentan combinaciones atípicas, como bajos niveles de ingreso asociados a montos de reclamación elevados o frecuencias de uso inusuales.

Estos grupos alejados de los centroides principales representan señales de alerta que pueden ser interpretadas como posibles indicadores de riesgo. Es importante destacar que la identificación de dichos clusters puede implicar la confirmación de fraude con la detección de patrones. La agrupación de la figura 5, permite interpretar lo siguiente:

1.- El cluster de altos ingresos y bajos reclamos. - Son aquellos consumidores con altos ingresos y bajos reclamos, que probablemente sean reclamos ordinarios hechos por familias ricas. Es muy probable que estos no sean fraudulentos y que la banca los acepte y emita las pólizas.

2.- El cluster de Ingresos moderados y reclamos moderados. - Son aquellos consumidores con ingresos moderados con valores de reclamación moderados. Estos son muy abundantes y podrían ser artículos cotidianos. Es muy probable que estos no sean fraudulentos y que la banca los acepte y emita las pólizas.

3.- El cluster de Ingresos moderados y reclamos elevados. - Son aquellos consumidores con los ingresos moderados y con valores de reclamos elevados. Esto podría ser aceptado si es algo que las personas de ingresos medios necesitan pero que no siempre pueden pagar, como ciertos reclamos de salud, educación, siniestros, entre otros. Así que probablemente se deberían de investigar a fondo, para emitir la póliza y evitar el fraude.

4.- El cluster de bajos ingresos y altos reclamos. - La categoría final es ingresos bajos, pero con valores de reclamos muy altos. Claramente, estos no son asequibles y, con la excepción de algo como los reclamos de salud y los demás mencionados, son catalogados intentos de obtener dinero gratis. Lo más probable es que se deban de rechazar por posible fraude.

5. Conclusiones

Los resultados muestran que los consumidores se agrupan en segmentos claramente diferenciados. Los clusters pequeños y alejados de los centroides principales representan comportamientos atípicos. Estos grupos fueron identificados como candidatos a fraude, reflejando la utilidad del clustering como herramienta exploratoria.

Los hallazgos concuerdan con estudios previos que destacan la eficacia del clustering para detección de anomalías (Aggarwal, 2017). Sin embargo, los resultados dependen de la selección de variables y métricas de distancia.

El clustering constituye una herramienta poderosa para identificar patrones de consumo y posibles fraudes. Su carácter no supervisado permite adaptarse a escenarios cambiantes. Futuras investigaciones pueden integrar clustering con técnicas supervisadas para mejorar la precisión.

Como menciona Han et al., (2012) el clustering constituye una herramienta robusta y flexible para la detección exploratoria de fraudes en la banca de seguros, especialmente

en escenarios dinámicos y con datos no etiquetados. El análisis de los datos permitió identificar cuatro grupos de comportamiento claramente diferenciados. Los clusters principales agrupan a usuarios con perfiles coherentes entre nivel de ingresos y montos de reclamación, lo cual sugiere comportamientos consistentes con prácticas habituales en la banca de seguros. Por otro lado, los clusters minoritarios presentan combinaciones atípicas, como bajos niveles de ingreso asociados a montos de reclamación elevados o frecuencias de uso inusuales.

Estos grupos alejados de los centroides principales representan señales de alerta que pueden ser interpretadas como posibles indicadores de riesgo para fraude. Es importante destacar que la identificación de dichos clusters implica la confirmación de fraude complementado con un análisis por parte de especialistas.

6. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa aseguradora que colaboró en el desarrollo de la presente investigación, por las facilidades otorgadas para el acceso a la información necesaria y por su disposición para apoyar actividades de análisis académico orientadas a la mejora de la gestión del riesgo en el sector de la banca de seguros.

Asimismo, se reconoce de manera especial al personal técnico y administrativo de la institución participante que contribuyó con la provisión, validación y contextualización de los datos utilizados en el estudio, cuya colaboración fue fundamental para la correcta comprensión de los procesos y para la interpretación de los resultados obtenidos.



Finalmente, los autores reconocen a todas las personas e instancias que, de manera directa o indirecta, participaron en el desarrollo de esta investigación, reiterando que el tratamiento de la información se realizó bajo principios de confidencialidad, ética y uso responsable de los datos.

7. Referencias

- Aggarwal, C. C. (2017). *Outlier analysis*. Springer.
- Arthur, D., & Vassilvitskii, S. (2007). k-means++: The advantages of careful seeding. En *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on discrete algorithms* (pp. 1027–1035). Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- Bolton, R. J., & Hand, D. J. (2002). Statistical fraud detection: A review. *Statistical Science*, 17(3), 235–255.
- Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 1–58. <https://doi.org/10.1145/1541880.1541882>
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster analysis* (5th ed.). Wiley.
- Fawcett, T., & Provost, F. (1997). Adaptive fraud detection. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(3), 291–316.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
- Hand, D. J., Mannila, H., & Smyth, P. (2001). *Principles of data mining*. MIT Press.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning* (2nd ed.). Springer.
- Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (1999). Data clustering: A review. *ACM Computing Surveys*, 31(3), 264–323.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2005). *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*. Wiley.
- MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. En *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability* (Vol. 1, pp. 281–297). University of California Press.
- Murtagh, F., & Contreras, P. (2012). Algorithms for hierarchical clustering. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(1), 86–97. <https://doi.org/10.1002/widm.53>
- Ngai, E. W. T., Hu, Y., Wong, Y. H., Chen, Y., & Sun, X. (2011). The application of data mining techniques in financial fraud detection: A classification framework and an academic review of literature. *Decision Support Systems*, 50(3), 559–569.
- Tan, P. N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2016). *Introduction to data mining* (2nd ed.). Pearson.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244.
- West, J., & Bhattacharya, M. (2016). Intelligent financial fraud detection: A comprehensive review. *Computers & Security*, 57, 47–66.
- Xu, R., & Wunsch, D. (2009). *Clustering*. Wiley-IEEE Press.
- Zimek, A., Schubert, E., & Kriegel, H. P. (2012). A survey on unsupervised outlier detection. *ACM Computing Surveys*, 44(4), 1–42. <https://doi.org/10.1145/2071389.2071395>

Análisis para la implementación de un sistema de soporte técnico automatizado basado en LLM y Docker

Analysis for the implementation of an automated technical support system based on LLM and Docker

Amaury-Castillo-Cruz ^a, Emmanuel-Tonatihu-Juarez-Velázquez ^a

^mMaestría en Sistemas Computacionales, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

Resumen

Se presenta el diseño e implementación de un sistema de soporte técnico automatizado para la atención de primer nivel, basado en un modelo de lenguaje de gran escala (LLM), una interfaz web en Python, una API de procesamiento y una arquitectura contenerizada con Docker. La propuesta automatiza la recepción, clasificación y respuesta inicial a tickets técnicos, y escala a soporte humano los casos complejos o de baja confianza. El estudio se estructuró como una investigación experimental-descriptiva orientada a evaluar precisión de clasificación, persistencia de datos y tiempos de respuesta bajo carga concurrente. En los escenarios controlados reportados, el sistema alcanzó una exactitud global de clasificación del 88% y un tiempo promedio de respuesta de 3.4 s con 20 solicitudes simultáneas, mientras que la reducción de memoria del contenedor del LLM a 2 GB elevó el tiempo promedio a 5.8 s. Los resultados sugieren que la arquitectura es viable para automatizar incidencias frecuentes y redistribuir la carga operativa de la mesa de ayuda. Se discuten además limitaciones metodológicas, de evaluación lingüística y de escalabilidad, así como líneas de trabajo futuro para robustecer el sistema.

Palabras clave: soporte técnico automatizado, LLM, Docker, clasificación de tickets, inteligencia artificial, arquitectura contenerizada

Abstract

This paper presents the design and implementation of an automated first-level technical support system based on a large language model (LLM), a Python web interface, an API layer, and a Docker-based containerized architecture. The proposal automates ticket intake, classification, and initial response generation, while escalating complex or low-confidence cases to human support. The study followed an experimental-descriptive design focused on classification accuracy, data persistence, and response time under concurrent workload. In the reported controlled scenarios, the system achieved an overall classification accuracy of 88% and an average response time of 3.4 s under 20 simultaneous requests; when the LLM container memory was reduced to 2 GB, the average response time increased to 5.8 s. The findings suggest that the proposed architecture is viable for automating recurrent incidents and redistributing help-desk workload. Methodological limitations, language-evaluation gaps, and future research directions are also discussed.

Keywords: automated technical support, LLM, Docker, ticket classification, artificial intelligence

Introducción

El crecimiento sostenido de los servicios digitales ha incrementado el volumen de solicitudes dirigidas a las mesas de ayuda, lo que ha tensionado los esquemas tradicionales de soporte basados exclusivamente en atención humana. En este contexto, los tiempos de respuesta, la saturación operativa y los costos de primer nivel se han convertido en factores

críticos para la continuidad de los servicios y la experiencia del usuario.

Los modelos de lenguaje de gran escala (LLM) han mostrado capacidad para interpretar lenguaje natural, sintetizar información, clasificar textos y generar respuestas contextualizadas. Integrados dentro de una arquitectura controlada, estos modelos pueden funcionar como un filtro inteligente para resolver incidencias frecuentes, orientar al

*Autor para la correspondencia: 202510971@tese.edu.mx

Correo electrónico: 202510971@tese.edu.mx (Amaury-Castillo-Cruz),

Historial del manuscrito: recibido el 2/3/2026, última versión-revisada recibida el 21/4/2026, aceptado el 29/4/2026, publicado el 30/4/2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19889233>

usuario y escalar oportunamente los casos de mayor complejidad.

No obstante, la incorporación de un chatbot por sí sola no garantiza una mejora operativa. La automatización del primer nivel de soporte requiere una arquitectura reproducible, auditable y escalable, capaz de separar servicios, registrar evidencia y mantener persistencia incluso ante reinicios o actualizaciones. Por ello, el presente trabajo propone una arquitectura contenerizada basada en Docker, una capa de procesamiento en Python y una base de datos PostgreSQL para soportar el ciclo completo del ticket.

El objetivo del estudio fue diseñar e implementar un sistema de soporte técnico automatizado capaz de: i) recibir solicitudes en lenguaje natural; ii) clasificar tickets por nivel de soporte; iii) generar respuestas iniciales contextualizadas; iv) persistir trazas del proceso; y v) escalar automáticamente los casos complejos. La contribución principal radica en articular la capa de inteligencia lingüística con una arquitectura de despliegue modular orientada a operación real.

Metodología

Diseño general de la solución

La solución se diseñó como una arquitectura de cuatro componentes principales: interfaz web, backend en Python, servicio de inferencia del LLM y base de datos PostgreSQL. Cada componente fue desplegado como un servicio independiente para facilitar aislamiento de dependencias, mantenimiento y crecimiento gradual del sistema. La Figura 1 presenta la arquitectura lógica propuesta.

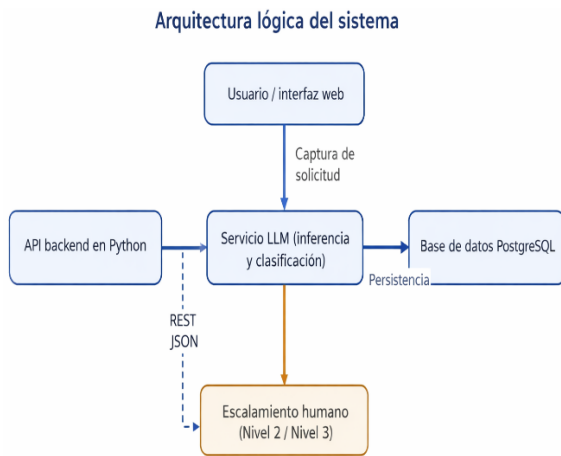


Figura 1. Arquitectura lógica del sistema de soporte técnico automatizado.

Modelo de lenguaje y estrategia de procesamiento

Se utilizó un LLM preentrenado basado en arquitectura Transformer, consumido como servicio independiente y operado mediante ingeniería de prompts. En la fase reportada no se describió un proceso de ajuste fino adicional; la adaptación al dominio se realizó mediante restricciones de salida, delimitación temática y reglas para forzar el

escalamiento cuando la confianza fue baja o la consulta excedió el alcance del Nivel 1.

El flujo de procesamiento inició con la captura del incidente en lenguaje natural. Posteriormente, el backend realizó limpieza básica del texto, estructuración del prompt y envió al servicio del modelo. El LLM generó una respuesta inicial y una categoría de soporte, que posteriormente fue persistida junto con la evidencia del ticket. El proceso general se resume en la Figura 4.

Despliegue contenerizado

La implementación se realizó con Docker y Docker Compose. El backend, el servicio del LLM y PostgreSQL se ejecutaron en contenedores separados, comunicados por una red interna tipo bridge. Esta separación permitió encapsular dependencias, facilitar reinicios controlados y evitar conflictos de configuración entre servicios. La base de datos se configuró con volúmenes persistentes para conservar los registros aun cuando los contenedores fueran recreados.

Despliegue contenerizado con Docker Compose

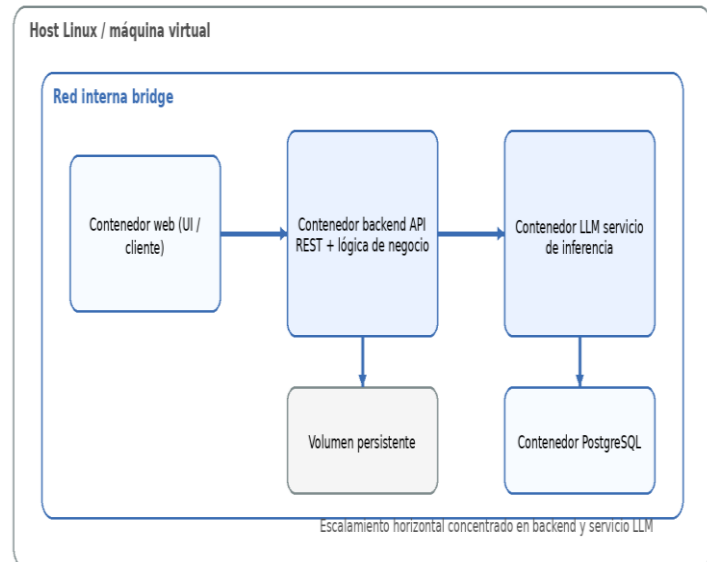


Figura 2. Despliegue contenerizado mediante Docker Compose y red interna de servicios.

Modelo de datos y trazabilidad

Con el fin de garantizar trazabilidad, auditoría y análisis posterior, se diseñó una estructura relacional en PostgreSQL compuesta por entidades para usuarios, tickets, respuestas generadas por el modelo, niveles de soporte e historial de estados. De esta manera, cada ticket conserva su descripción original, la respuesta automatizada, el nivel asignado y la evolución del flujo operativo.

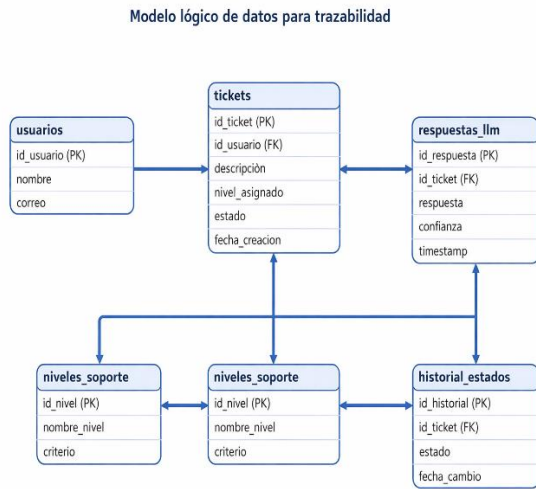


Figura 3. Modelo lógico de datos para el registro y seguimiento del ticket.

Diseño experimental

El estudio se planteó bajo un enfoque experimental-descriptivo. Se realizaron pruebas controladas para analizar el comportamiento del sistema en tres dimensiones: clasificación automática de tickets, tiempo de respuesta y persistencia de datos. Los tickets utilizados en la evaluación incluyeron incidencias frecuentes del Nivel 1 (por ejemplo, restablecimiento de contraseña, configuración básica y dudas operativas) e incidencias complejas asociadas a fallos de red o infraestructura, que debían ser escaladas al Nivel 2 o Nivel 3.

Elemento experimental	Descripción
Tipo de estudio	Experimental-descriptivo.
Unidad de análisis	Tickets de soporte técnico procesados por el sistema.
Conjunto de prueba	Pruebas realizadas en conjunto con el servidor
Etiquetado de referencia	Tickets del sistema aplicados

Escenarios evaluados	Clasificación por nivel, persistencia de datos y carga concurrente.
Cargas ejecutadas	1 usuario, 20 usuarios concurrentes y escenario degradado con 2 GB de memoria para el contenedor del LLM.
Cargas sugeridas para reenvío	50 y 100 usuarios concurrentes para validar escalabilidad real.
Entorno de hardware	Windows 11 , 32 GB RAM , RTX 5060 , Docker Desktop

Tabla 1. Configuración metodológica y elementos mínimos de replicabilidad.

Métricas de evaluación

Para la dimensión de clasificación, la métrica central reportada fue la exactitud global (accuracy). No obstante, para una validación científica más robusta se requiere complementar el análisis con precisión, recall, F1-score por clase y matriz de confusión, dado que la clasificación por niveles de soporte constituye una tarea multiclase donde el costo operativo del error no es uniforme.

Para la dimensión lingüística, la calidad de la respuesta automatizada debería evaluarse con dos enfoques complementarios: i) métricas automáticas de similitud textual, como BLEU y ROUGE, cuando exista una respuesta de referencia; y ii) evaluación humana basada en pertinencia, claridad, utilidad técnica y adecuación al dominio. Este segundo componente es especialmente importante porque una respuesta con alta similitud léxica no necesariamente implica utilidad operativa.

Resultados

Los resultados obtenidos muestran que la integración entre el backend, el servicio del LLM y PostgreSQL fue funcional durante las pruebas controladas. El sistema logró generar respuestas iniciales para incidencias frecuentes, registrar la información asociada al ticket y escalar los casos complejos cuando la consulta rebasó el dominio previsto para el primer nivel.

Variable	Resultado reportado	Observación técnica
Exactitud global de clasificación	88%	Valor preliminar. Debe complementarse con precisión, recall, F1-score y matriz de confusión.

Tiempo promedio con 20 solicitudes concurrentes	3.4 s	Desempeño aceptable en carga ligera concurrente.
Tiempo promedio con el contenedor del LLM limitado a 2 GB	5.8 s	Evidencia sensibilidad del servicio del LLM a la memoria asignada.
Persistencia de datos tras reinicio de contenedores	Conservada	Los volúmenes de Docker mantuvieron la información sin pérdida.
Clasificación de incidencias frecuentes	Correcta en la mayoría de los escenarios controlados	Incluyó casos típicos de Nivel 1.
Escalamiento de casos complejos	Activado hacia Nivel 2 / Nivel 3	Observado en incidencias de red e infraestructura.
Evaluación lingüística de las respuestas	Respuestas Interactivas de aprendizaje continuo	Agregar BLEU/ROUGE si existen respuestas de referencia y evaluación humana con escala definida.

Tabla 2. Resultados experimentales reportados en la presente versión del manuscrito.

Desde la perspectiva operativa, el hallazgo más relevante fue la capacidad del sistema para absorber incidencias frecuentes del Nivel 1 sin intervención humana inmediata. Ello sugiere un potencial de redistribución de carga hacia tareas especializadas. Sin embargo, el valor de exactitud reportado debe interpretarse como preliminar, pues no se acompañó de una matriz de confusión ni de métricas por clase.

Flujo de procesamiento y decisión del ticket

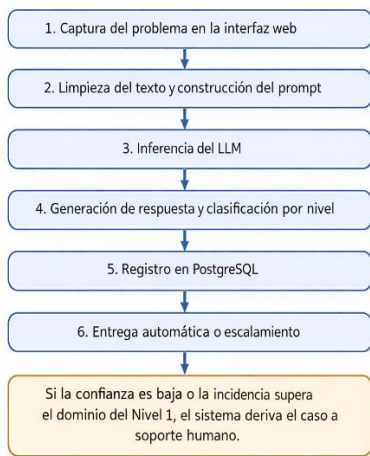


Figura 4. Flujo de procesamiento del ticket desde la captura hasta la respuesta o el escalamiento.

Comparación con enfoques alternativos

Con el fin de contextualizar la propuesta, se realizó una comparación cualitativa con dos familias de soluciones existentes: los chatbots tradicionales basados en reglas y las plataformas comerciales de atención como Zendesk y Freshdesk. La comparación no pretende demostrar superioridad absoluta, sino ubicar el aporte del sistema dentro del ecosistema actual de soluciones.

Criterio	Sistema propuesto	Chatbot basado en reglas	Plataformas comerciales
Comprensión del lenguaje natural	Alta; depende del LLM y del prompt.	Limitada a reglas fijas.	Alta; IA y automatización maduras.
Control de arquitectura y despliegue	Alto; modular y adaptable.	Alto en flujos simples.	Menor; depende del proveedor.
Escalamiento automático	Sí, por complejidad o baja confianza.	Por reglas fijas.	Sí, con routing y flujos integrados.
Costo inicial de implementación	Moderado; requiere desarrollo e infraestructura.	Bajo a moderado.	Licenciamiento por usuario e integración.
Madurez funcional	Prototipo funcional validado de forma preliminar.	Útil para FAQ y flujos acotados.	Alta madurez e integración empresarial.
Adecuación para investigación	Alta; permite experimentar con arquitectura y métricas.	Media; menor riqueza semántica.	Media; alta capacidad operativa, menor control experimental.

Tabla 3. Comparación cualitativa entre el sistema propuesto y soluciones alternativas.

Discusión

Los resultados respaldan la viabilidad técnica de integrar un LLM dentro de una arquitectura contenerizada para automatizar parte del primer nivel de atención. La exactitud global reportada y los tiempos observados bajo carga ligera sugieren que la propuesta es funcional para incidencias recurrentes, siempre que el dominio del problema esté acotado y que existan criterios claros de escalamiento.

A diferencia de un chatbot estrictamente basado en reglas, el sistema propuesto ofrece mayor flexibilidad semántica para interpretar consultas expresadas de forma natural y heterogénea. No obstante, esa ventaja introduce un comportamiento probabilístico que exige mecanismos explícitos de contención: instrucciones de dominio, límites de respuesta, reglas de derivación y supervisión de calidad.

En comparación con plataformas comerciales consolidadas, la principal fortaleza de la propuesta reside en

el control arquitectónico y en la posibilidad de adaptar el despliegue a necesidades específicas de investigación o de operación local. Su principal debilidad, por el contrario, se encuentra en la menor madurez funcional: no dispone aún de ecosistemas de integración, analítica avanzada, gobierno operacional ni validación extensiva comparable con soluciones empresariales establecidas.

Desde el punto de vista metodológico, la mayor debilidad del manuscrito original no fue la ausencia de resultados, sino la insuficiente formalización del experimento. Reportar únicamente una exactitud global y observaciones descriptivas no permite estimar con precisión la calidad del clasificador ni la utilidad real de las respuestas generadas. Por ello, la siguiente etapa del estudio debe incorporar una evaluación por clase, carga extendida de 50 y 100 usuarios concurrentes, análisis de dispersión temporal y juicio experto sobre la calidad de las respuestas.

Limitaciones y trabajo futuro

El estudio presenta varias limitaciones. En primer lugar, la versión inicial del manuscrito no especificó con precisión el modelo utilizado, la versión, la configuración de inferencia ni el entorno de hardware, lo que dificulta la replicabilidad. En segundo lugar, la evaluación lingüística de las respuestas no fue formalizada mediante BLEU, ROUGE o evaluación humana estructurada. En tercer lugar, la validación de escalabilidad se limitó a 20 usuarios concurrentes, por lo que no es posible afirmar desempeño estable para cargas más altas.

Adicionalmente, la exactitud global de 88% no fue acompañada por precisión, recall, F1-score ni matriz de confusión, lo que impide identificar en qué niveles de soporte se concentra el error. Tampoco se reportó un análisis estadístico de dispersión de tiempos ni un estudio de costo-beneficio frente a la operación manual.

Como líneas de trabajo futuro se proponen: i) ampliar las pruebas a 50, 100 o más usuarios concurrentes; ii) incorporar evaluación humana de la utilidad técnica de las respuestas; iii) explorar mecanismos de grounding mediante bases de conocimiento o recuperación aumentada; iv) comparar el desempeño con un chatbot basado en reglas en un mismo conjunto de tickets; y v) estudiar estrategias de ajuste fino o especialización del modelo para dominios técnicos concretos.

Conclusiones

Se diseñó e implementó un sistema funcional para la automatización del primer nivel de soporte técnico, articulando una interfaz web en Python, un servicio LLM, una API de procesamiento, PostgreSQL y contenedores Docker. La propuesta demostró capacidad para clasificar tickets, generar respuestas iniciales y escalar casos complejos dentro de una arquitectura modular y persistente.

Los resultados preliminares muestran que el sistema puede reducir tiempos de atención y redistribuir la carga operativa hacia niveles especializados. Sin embargo, la evidencia

reportada debe entenderse como una validación inicial y no como una demostración concluyente de superioridad frente a otras soluciones. La consolidación científica del trabajo exige completar los datos metodológicos pendientes y ampliar la evaluación experimental.

Aun con estas reservas, el estudio aporta una base arquitectónica y metodológica útil para futuras investigaciones sobre automatización del soporte técnico con inteligencia artificial, especialmente en escenarios donde se requiere control del despliegue, trazabilidad del proceso y adaptación del sistema a políticas operativas locales.

Agradecimientos

El autor agradece al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec por el respaldo académico brindado durante el desarrollo del trabajo, así como a los asesores y revisores que, mediante sus observaciones, contribuyeron al fortalecimiento metodológico y técnico del manuscrito.

Referencias

- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., et al. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901.
- Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
- Freshworks. (2026). Freshdesk: AI-powered platform for modern customer service. Recuperado el 19 de marzo de 2026 de <https://www.freshworks.com/freshdesk/>
- Géron, A. (2022). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* (3rd ed.). O'Reilly Media.
- Huang, M. H., & Rust, R. T. (2021). Artificial intelligence in service. *Journal of Service Research*, 24(1), 3–16. <https://doi.org/10.1177/1094670520902266>
- ITIL. (2019). *ITIL Foundation: ITIL 4 Edition*. AXELOS.
- Lin, C.-Y. (2004). ROUGE: A package for automatic evaluation of summaries. In *Proceedings of the Workshop on Text Summarization Branches Out* (pp. 74–81). Association for Computational Linguistics.
- Merkel, D. (2014). Docker: Lightweight Linux containers for consistent development and deployment. *Linux Journal*, 2014(239), 2.
- Newman, S. (2015). *Building microservices*. O'Reilly Media.
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things*. Basic Books.
- OpenAI. (2023). GPT-4 technical report. arXiv:2303.08774.
- Papineni, K., Roukos, S., Ward, T., & Zhu, W.-J. (2002). BLEU: A method for automatic evaluation of machine translation. In *Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 311–318). Association for Computational Linguistics.
- Richards, M., & Ford, N. (2020). *Fundamentals of software architecture*. O'Reilly Media.

- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). Python 3 reference manual. CreateSpace.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., et al. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- Zendesk. (2026). AI for customer service. Recuperado el 19 de marzo de 2026 de <https://www.zendesk.com/service/ai/>.
- Agarwal, S., Sindhgatta, R., & Sengupta, B. (2012). SmartDispatch: Enabling efficient ticket dispatch in an IT service environment. In *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. ACM. doi:10.1145/2339530.2339744.
- Al-Hawari, F., & Barham, H. (2021). A machine learning based help desk system for IT service management. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 33(6), 702–718. doi:10.1016/j.jksuci.2019.04.001.
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In *Proceedings of NAACL-HLT 2019* (pp. 4171–4186). Association for Computational Linguistics.
- Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Wang, M., & Wang, H. (2024). Retrieval-augmented generation for large language models: A survey. *arXiv*. doi:10.48550/arXiv.2312.10997.
- Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W.-t., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *arXiv*. doi:10.48550/arXiv.2005.11401.
- Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., & Chen, W. (2021). LoRA: Low-rank adaptation of large language models. *arXiv*. doi:10.48550/arXiv.2106.09685.
- Marcuzzo, M., Zangari, A., Schiavinato, M., Giudice, L., Gasparetto, A., & Albarelli, A. (2022). A multi-level approach for hierarchical ticket classification. In *Proceedings of the Eighth Workshop on Noisy User-generated Text (W-NUT 2022)* (pp. 201–214). Association for Computational Linguistics.
- Olujimi, P. A., & Ade-Ibijola, A. (2023). NLP techniques for automating responses to customer queries: A systematic review. *Discover Artificial Intelligence*, 3, 20. doi:10.1007/s44163-023-00065-5.

Cypress en formación universitaria para testing web Cypress in University Training for Web Testing

Israel Antonio Marín Castañeda^a 

^aTecNM/TESE, Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

Resumen

La digitalización del sector público exige portales web confiables, accesibles y sostenibles; sin embargo, la formación universitaria en ingeniería de software todavía presenta brechas prácticas en aseguramiento de calidad y testing automatizado. Este artículo analiza la pertinencia de Cypress como herramienta de entrada para capacitar estudiantes universitarios en pruebas web, en comparación con Selenium y Playwright. Se desarrolló una revisión documental narrativa, complementada con una matriz comparativa, una rúbrica de evaluación y una priorización MoSCoW aplicada a competencias de QA. Los resultados, derivados del análisis documental y no de un experimento con estudiantes, muestran que Cypress ofrece ventajas pedagógicas en configuración inicial, depuración visual y retroalimentación inmediata. Playwright destaca en escenarios E2E avanzados y Selenium conserva valor por su madurez e interoperabilidad. Se concluye que Cypress es adecuado para formación inicial, siempre que se enseñen también sus limitaciones y métricas objetivas de evaluación.

Palabras clave: aseguramiento de calidad; Cypress; educación en ingeniería; sector público; testing automatizado

Abstract

Public-sector digitalization requires reliable, accessible, and sustainable web portals; however, university software engineering education still shows practical gaps in quality assurance and automated testing. This article analyzes the relevance of Cypress as an entry-level tool for training university students in web testing, compared with Selenium and Playwright. A narrative documentary review was conducted, supported by a comparative matrix, an evaluation rubric, and a MoSCoW prioritization applied to QA competencies. The results are derived from documentary analysis rather than from a student experiment. They show that Cypress provides pedagogical advantages in initial setup, visual debugging, and immediate feedback. Playwright stands out for advanced end-to-end scenarios, while Selenium remains valuable because of its maturity and interoperability. The paper concludes that Cypress is suitable for initial training, provided that its limitations and objective evaluation metrics are explicitly taught.

Keywords: automated testing; Cypress; engineering education; public sector; quality assurance

1. Introducción

La calidad del software en los portales gubernamentales incide directamente en la continuidad del servicio, la accesibilidad y la confianza institucional. Una falla en autenticación, formularios, pagos o seguimiento de trámites no solo representa un defecto técnico: puede interrumpir el acceso ciudadano a servicios públicos y deteriorar la percepción de eficacia del gobierno digital. Por ello, el aseguramiento de calidad (QA) y el testing automatizado se han convertido en prácticas necesarias para sostener aplicaciones web sometidas a cambios frecuentes.

En la formación universitaria, el problema no se limita a enseñar conceptos de pruebas. La literatura sobre educación en testing muestra que aún existe una brecha entre los contenidos impartidos y las prácticas que demanda la industria, especialmente cuando los cursos no incorporan

herramientas reales, proyectos auténticos y criterios medibles de desempeño (Garousi et al., 2020). Esta brecha resulta crítica en contextos públicos, donde los equipos técnicos suelen enfrentar restricciones presupuestales, heterogeneidad tecnológica y alta presión por mantener servicios disponibles.

Cypress se ha posicionado como una herramienta relevante para pruebas web modernas debido a su ejecución dentro del navegador, su retroalimentación visual, su configuración inicial relativamente simple y su integración con flujos de desarrollo basados en JavaScript. Sin embargo, una adopción académica responsable no debe presentarlo como solución universal. Su pertinencia debe compararse con Selenium, que conserva madurez e interoperabilidad mediante WebDriver, y con Playwright, que ofrece capacidades sólidas para escenarios end-to-end avanzados, aislamiento por contextos y depuración mediante trazas.

*Autor para la correspondencia: 202510217@tese.edu.mx

Correo electrónico: 202510217@tese.edu.mx (Israel-Antonio Marín-Castañeda)

Historial del manuscrito: recibido el 07/03/2026, última versión-revisada recibida el 09/5/2026, aceptado el 12/05/2026, publicado el 13/05/2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20142501>

El objetivo de este artículo es analizar la pertinencia de Cypress como herramienta de entrada para la capacitación universitaria en testing web, comparándolo con Selenium y Playwright, y proponiendo criterios de evaluación aplicables a QA en portales gubernamentales o escenarios equivalentes del sector público mexicano.

1.1 Estado del arte y problema de investigación

El testing automatizado ha sido estudiado como una estrategia para reducir retrabajo, ejecutar regresiones de manera repetible y detectar defectos en etapas tempranas del ciclo de vida del software (Pressman & Maxim, 2014; Jorgensen, 2013). En paralelo, los estudios de educación en testing han señalado que muchos cursos universitarios mantienen una orientación conceptual o fragmentada, con menor presencia de experiencias reales y evaluación mediante métricas de calidad (Garousi et al., 2020).

Desde la perspectiva de herramientas, Selenium mantiene vigencia por su alineación con WebDriver, que permite controlar navegadores de forma interoperable y cercana al comportamiento de usuario (Selenium, n.d.). Playwright amplía las posibilidades de automatización moderna mediante contextos de navegador aislados y herramientas de traza que facilitan el diagnóstico de fallos en integración continua (Playwright, n.d.-a, n.d.-b). Cypress, por su parte, destaca por su experiencia visual de ejecución y por reducir fricción inicial en proyectos frontend, aunque su documentación reconoce trade-offs relevantes, como la imposibilidad de controlar más de un navegador abierto al mismo tiempo y restricciones específicas en pruebas cross-origin (Cypress, n.d.-b, n.d.-c).

La brecha de investigación se ubica en la falta de modelos formativos universitarios que articulen herramientas de automatización actuales, criterios objetivos de QA y escenarios relacionados con portales públicos mexicanos. Por tanto, el análisis no se plantea como un experimento de rendimiento absoluto, sino como una revisión comparativa y propuesta metodológica para orientar la incorporación de Cypress en cursos de ingeniería de software.

2. Materiales y Método

Se realizó una revisión documental narrativa con énfasis comparativo. El corpus incluyó literatura académica sobre educación en testing, libros de ingeniería de software, documentación oficial de Cypress, Selenium y Playwright, así como reportes sectoriales vinculados con gobierno digital. La revisión se delimitó principalmente al periodo 2014-2024 para literatura académica, complementándose con documentación oficial vigente de las herramientas consultada en 2026.

El diseño del estudio fue no experimental. No se aplicó un curso piloto ni se recolectaron datos de estudiantes; por consiguiente, los resultados no se presentan como evidencia empírica de aprendizaje ni como mediciones de desempeño con muestra $n > 50$. La aportación del artículo consiste en una síntesis comparativa, una rúbrica analítica y una propuesta de indicadores para una futura validación empírica.

Los criterios de análisis fueron: curva de aprendizaje, facilidad de configuración, depuración visual, estabilidad

esperada de ejecución, cobertura de navegadores y escenarios, integración con CI/CD, mantenibilidad de pruebas y capacidad de detección/diagnóstico de fallos. Cada criterio se valoró en escala ordinal de 1 a 5, donde 1 representa baja adecuación para formación inicial y 5 representa alta adecuación. La rúbrica no mide tiempos absolutos de ejecución; sintetiza evidencia documental y pertinencia pedagógica.

Para atender la necesidad de métricas estandarizadas, se incorporó una matriz MoSCoW aplicada a QA. Esta técnica prioriza requisitos en categorías Must have, Should have, Could have y Won't have this time, y se usa para clarificar qué capacidades deben formar parte de una primera implementación (Agile Business Consortium, n.d.). También se definieron indicadores propuestos de evaluación técnica y educativa, alineados con criterios de calidad de software y con el modelo ISO/IEC 25010 (International Organization for Standardization, 2011).

3. Resultados

El hallazgo principal del análisis fue que Cypress constituye una opción sólida para formación universitaria inicial en testing web por su baja fricción de entrada y su depuración visual, pero no reemplaza a Selenium ni a Playwright en todos los escenarios. Su adopción debe plantearse como parte de una ruta formativa gradual y medible, no como una superioridad absoluta.

3.1 Adopción reportada y contexto profesional

En la encuesta State of JavaScript 2024, dentro de la pregunta sobre herramientas usadas en contexto profesional, Playwright registró 3,674 menciones, Cypress 3,603 y Selenium 1,130, sobre 11,667 respuestas a esa pregunta (State of JS, 2024). Esto equivale aproximadamente a 31.5 %, 30.9 % y 9.7 %, respectivamente. Estas cifras no representan cuota global de mercado, pero sí muestran que Cypress se mantiene como herramienta relevante en la comunidad JavaScript profesional.

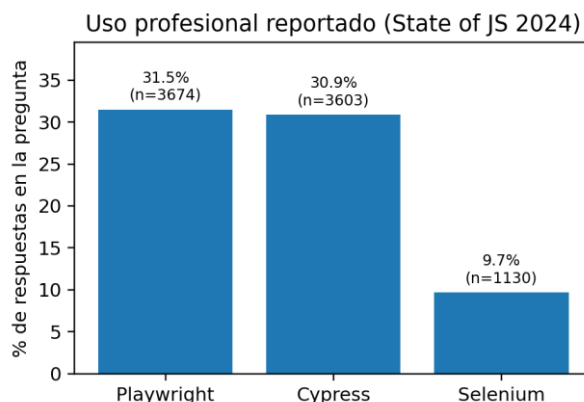


Figura 1. Uso profesional reportado de Playwright, Cypress y Selenium.

Fuente: elaboración propia con datos de State of JS (2024).

1.2. 3.2 Comparación técnica y pedagógica

La comparación muestra perfiles complementarios. Selenium ofrece madurez, interoperabilidad y amplia

experiencia acumulada, aunque su configuración inicial puede resultar menos accesible para estudiantes. Playwright destaca por su modelo moderno, sus contextos aislados y su Trace Viewer, lo que lo hace conveniente para escenarios E2E

avanzados. Cypress sobresale en la etapa de formación inicial por su ejecución observable, mensajes de error comprensibles, recarga rápida y facilidad para relacionar script, DOM y comportamiento de interfaz.

Tabla 1. Matriz comparativa numérica de herramientas para capacitación QA.

Criterio (1=bajo, 5=alto)	Selenium	Playwright	Cypress	Justificación sintética
Curva de aprendizaje	2	4	5	Cypress reduce fricción inicial; Selenium exige más configuración.
Facilidad de configuración inicial	3	4	5	Cypress y Playwright se integran rápido con npm; Selenium requiere drivers.
Depuración visual y diagnóstico	2	4	5	Cypress y Playwright ofrecen mejor observabilidad visual que Selenium básico.
Estabilidad/sincronización	3	4	4	Los tres pueden ser estables con buenas prácticas; Cypress sincroniza comandos.
Cobertura de navegadores y escenarios	5	5	3	Selenium y Playwright cubren mejor escenarios amplios y multi-contexto.
Integración con CI/CD	4	4	4	Los tres pueden ejecutarse en pipelines modernos.
Mantenibilidad de pruebas	3	4	4	Playwright/Cypress favorecen patrones modernos; Selenium depende más del stack.
Detección y explicación de fallos	3	4	5	Cypress facilita diagnóstico inmediato; Playwright aporta trazas robustas.
Pertinencia para formación inicial	3	4	5	Cypress resulta más didáctico para primeras prácticas.
Ajuste a portales públicos simples/medios	3	4	4	Cypress es viable para flujos web; Playwright crece en complejidad avanzada.

Nota. La tabla sintetiza adecuación relativa para docencia y proyectos públicos de complejidad baja a media; no corresponde a una medición experimental de velocidad absoluta.

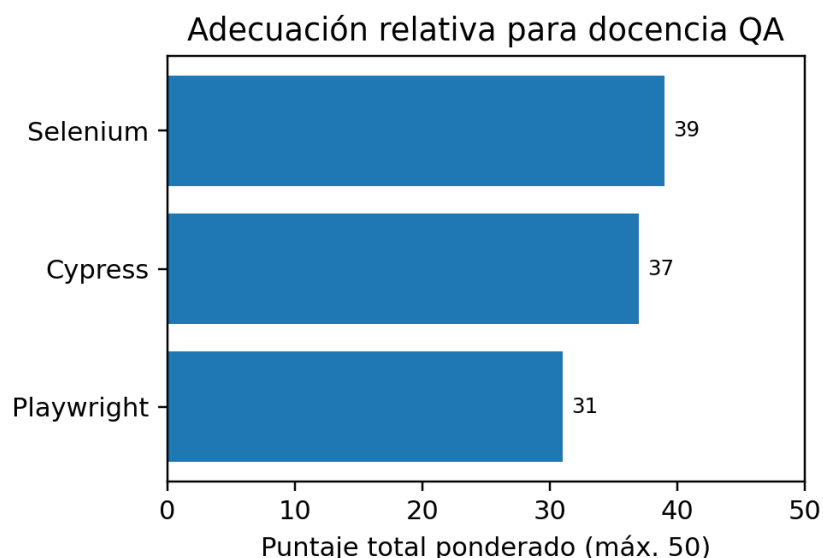


Figura 2. Puntaje total ponderado de adecuación relativa para docencia QA.

Fuente: elaboración propia con base en documentación oficial y criterios de la rúbrica.

El puntaje total fue de 39/50 para Cypress, 37/50 para Playwright y 31/50 para Selenium. La diferencia entre Cypress y Playwright es estrecha; por tanto, el resultado no debe interpretarse como una jerarquía universal, sino como

una preferencia contextual para cursos introductorios de testing web.

3.3 Matriz MoSCoW para una primera implementación formativa

La priorización MoSCoW permitió definir qué capacidades deben incluirse en una primera versión del

modelo de capacitación y cuáles pueden reservarse para fases avanzadas. Esta matriz evita sobredimensionar el curso inicial y permite alinear competencias con objetivos verificables.

Tabla 2. Priorización MoSCoW aplicada a competencias de QA con Cypress.

Categoría	Capacidades priorizadas	Criterio de decisión
Must have	Diseño de casos funcionales, selectores robustos, assertions, ejecución local, evidencia de fallos.	Sin estas capacidades no existe una práctica mínima viable de QA automatizado.
Should have	Integración básica con CI/CD, fixtures, comandos personalizados, reporte de defectos y cobertura funcional.	Aumenta sostenibilidad y trazabilidad, aunque puede añadirse tras la primera práctica.
Could have	Pruebas visuales, mocks avanzados, pruebas de componentes, monitoreo sintético y dashboards.	Mejora madurez técnica, pero no es indispensable para una primera cohorte.
Won't have this time	Escenarios multi-navegador simultáneo, pruebas móviles nativas, pruebas de carga y automatización de escritorio.	Quedan fuera del alcance inicial porque requieren otras herramientas o mayor complejidad.

3.4 Indicadores propuestos de evaluación

Debido a que el artículo no reporta una intervención con estudiantes, los indicadores se presentan como propuesta

metodológica para un piloto posterior. Su función es evitar afirmaciones no sustentadas y preparar una evaluación replicable.

Tabla 3. Indicadores propuestos para validar el modelo en una fase piloto.

Indicador	Cálculo sugerido	Uso interpretativo
Cobertura funcional	Escenarios automatizados / escenarios críticos definidos x 100	Mide alcance real de la suite.
Tasa de fallos detectados	Casos fallidos / casos ejecutados x 100	Permite identificar estabilidad del sistema bajo prueba.
Defect leakage	Defectos posprueba / defectos totales x 100	Evalúa qué fallos escaparon de la fase de QA.
Flakiness	Ejecuciones inconsistentes / repeticiones totales x 100	Mide confiabilidad de la suite automatizada.
MTTR	Tiempo promedio entre reporte, corrección y reverificación	Relaciona calidad del reporte con velocidad de solución.
Aprendizaje técnico	Diferencia entre pretest y postest o rúbrica de desempeño	Mide mejora formativa sin inventar resultados previos.

Flujo propuesto de capacitación y evaluación

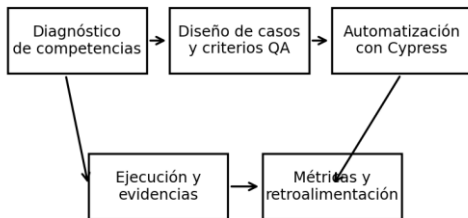


Figura 3. Flujo propuesto de capacitación y evaluación del modelo.

Fuente: elaboración propia.

3.5 Limitaciones de Cypress identificadas

La evaluación crítica muestra que Cypress no debe presentarse como herramienta suficiente para todos los escenarios empresariales. Su documentación oficial indica que no controla más de un navegador abierto al mismo tiempo, por lo que casos de colaboración en tiempo real, múltiples sesiones simultáneas o flujos estrictamente multi-usuario

requieren estrategias complementarias o herramientas adicionales (Cypress, n.d.-c).

También existen restricciones en pruebas cross-origin. Cypress puede manejar distintos orígenes mediante `cy.origin()`, pero navegar entre dominios dentro del mismo test requiere una estructura específica; además, los iframes cross-origin no están soportados de forma general (Cypress, n.d.-b). En portales públicos, esto es relevante cuando existen integraciones con pasarelas de pago, autenticación externa o servicios federados.

Otra limitación es su dependencia natural del ecosistema JavaScript. Aunque esto es una ventaja para cursos frontend, puede ser una barrera en programas centrados en Java, .NET o entornos legacy. Asimismo, el mantenimiento de selectores sigue siendo un riesgo: una suite Cypress mal diseñada puede volverse frágil si se basa en selectores visuales o estructuras de DOM inestables. Por ello, la formación debe incluir buenas prácticas de selectores, datos de prueba y diseño de pruebas mantenibles.

4. Discusión

Los resultados responden a las observaciones de revisión en tres sentidos. Primero, se incorporaron figuras y tablas que hacen visible la comparación entre herramientas y el flujo de capacitación. Segundo, se agregó cuantificación, pero delimitada como datos de encuesta o como rúbrica documental, no como resultado empírico inventado. Tercero,

se desarrolló una evaluación explícita de las limitaciones de Cypress, evitando presentar la herramienta como solución universal.

Cypress obtiene una ventaja pedagógica clara para formación inicial porque permite que el estudiante observe la relación entre código, interfaz, DOM, ejecución y evidencia de fallo. Esta característica es relevante para cursos donde el objetivo es desarrollar criterio de QA antes que cubrir todos los escenarios complejos de automatización. En ese sentido, su valor no radica en superar siempre a Selenium o Playwright, sino en facilitar una primera apropiación de la lógica del testing automatizado.

Playwright debe considerarse un complemento natural para fases avanzadas. Su Trace Viewer, sus contextos de navegador y su cobertura multi-navegador lo hacen especialmente pertinente para escenarios de mayor complejidad. Selenium conserva vigencia cuando se requiere interoperabilidad amplia, integración con infraestructuras existentes y compatibilidad histórica. Por tanto, un currículo equilibrado podría iniciar con Cypress, incorporar criterios de QA y migrar progresivamente a Playwright o Selenium según el tipo de sistema.

La principal limitación del artículo es metodológica: al no existir todavía un piloto con estudiantes, no se reportan porcentajes de aprendizaje, tiempos de ejecución medidos en laboratorio ni reducción real de defectos en un portal gubernamental. Esta decisión fortalece la integridad del manuscrito, porque diferencia con claridad los resultados documentales de los indicadores que deberán medirse en una fase empírica posterior.

5. Conclusiones

Cypress es una herramienta pertinente para la capacitación universitaria inicial en testing web automatizado por su facilidad de configuración, depuración visual y retroalimentación inmediata. Estas características favorecen el aprendizaje activo y la construcción de competencias prácticas de QA en estudiantes que comienzan a trabajar con automatización de pruebas.

La comparación con Selenium y Playwright muestra que la selección de herramienta debe responder al objetivo formativo y al contexto técnico. Cypress resulta adecuado para introducir pruebas funcionales web y razonamiento de QA; Playwright es fuerte para escenarios E2E avanzados; y Selenium mantiene valor por su madurez, interoperabilidad y presencia histórica en automatización web.

El artículo aporta una matriz comparativa numérica, una priorización MoSCoW y una propuesta de indicadores técnicos y educativos que pueden servir como base para una implementación piloto. Como trabajo futuro, se recomienda aplicar el modelo con una cohorte estudiantil, documentar una muestra suficiente, medir cobertura, flakiness, defect leakage,

tiempo de ejecución y aprendizaje antes/después, y validar la propuesta en un portal público real o en un entorno equivalente controlado.

6. Agradecimientos

El autor agradece al Tecnológico Nacional de México/TESE y a los revisores académicos cuyas observaciones permitieron fortalecer el enfoque metodológico, la trazabilidad de fuentes y la claridad de los resultados presentados.

Referencias

- Agile Business Consortium. (n.d.). MoSCoW prioritisation. Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://www.agilebusiness.org/dsdm-project-framework/moscow-prioritisation.html>
- Cypress. (n.d.-a). Cross browser testing. Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://docs.cypress.io/app/guides/cross-browser-testing>
- Cypress. (n.d.-b). Cross origin testing. Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://docs.cypress.io/app/guides/cross-origin-testing>
- Cypress. (n.d.-c). Trade-offs in Cypress. Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://docs.cypress.io/app/references/trade-offs>
- Cypress. (n.d.-d). Why Cypress? Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://docs.cypress.io/app/get-started/why-cypress>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Garousi, V., Rainer, A., Lauvås, P., & Arcuri, A. (2020). Software-testing education: A systematic literature mapping. *Journal of Systems and Software*, 165, 110570. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110570>
- International Organization for Standardization. (2011). ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuARE) - System and software quality models. <https://www.iso.org/standard/35733.html>
- Jorgensen, P. C. (2013). *Software testing: A craftsman's approach* (4th ed.). CRC Press.
- Mobaraya, F., & Ali, S. (2019). Technical analysis of Selenium and Cypress as functional automation framework for modern web application testing. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Science, Engineering and Applications* (pp. 27-46). <https://doi.org/10.5121/csit.2019.91803>
- OECD. (2020). *Digital Government Index: 2019 results*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4de9f5bb-en>
- Playwright. (n.d.-a). BrowserContext. Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://playwright.dev/docs/api/class-browsercontext>
- Playwright. (n.d.-b). Trace viewer. Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://playwright.dev/docs/trace-viewer>
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2014). *Software engineering: A practitioner's approach* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Selenium. (n.d.). WebDriver. Recuperado el 9 de mayo de 2026, de <https://www.selenium.dev/documentation/webdriver/>
- State of JS. (2024). *State of JavaScript 2024: Testing*. <https://2024.stateofjs.com/en-US/libraries/testing/>

RICT Revista de Investigación Científica, Tecnológica e Innovación

Edición semestral volumen 4, número 7, Enero-Junio 2026



ISSN 2992-7315



9 772992 731002