

Compartiendo conocimientos

FEGLININ

Año 9, N°35, diciembre 2025

VOL 3
REVISTA OFICIAL
DE LA



Tópicos:

Tecnología; Innovación; Calidad;
Productividad; Desarrollo Económico.



CONTENIDO

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA WEB DE DIFUSIÓN DE SABERES Y TURISMO COMUNITARIO DE TLACOACHISTLAHUACA.....	4
DESERCIÓN UNIVERSITARIA EN REGIONES DE MÉXICO: FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y ACADÉMICOS QUE IMPULSAN LA DESERCIÓN ESTUDIANTIL.....	14
EL EFECTO DE LA INFLACIÓN SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE LOS CETES DURANTE LOS AÑOS POSTERIORES AL COVID-19 2022, 2023 Y 2024 EN MÉXICO.....	21
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MACHINE LEARNING PARA OBSERVABILIDAD Y TRAZABILIDAD EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS	31
DESARROLLO DE UN SISTEMA DIFUSO PARA EVALUAR LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN UNA EMPRESA TEXTIL	42
MODELO DE PREDICCIÓN PARA LAS ACTIVIDADES DE SECUENCIACIÓN EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES, A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES	51
PREDICCIÓN DEL FLUIDO TIPO EMULSIÓN INVERSA EN POZOS PETROLEROS MEDIANTE EL USO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES	60

Código DOI asignado a este volumen: [https://doi.org/10.70417/CyImi29W\)12B](https://doi.org/10.70417/CyImi29W)12B)

Comisión Editorial F.G.D.P.

Directora Editorial:

Lic. Sandra Patricia Vázquez Hernández
Federación Global de Profesiones AC
administracion@federacionglobal.com

Secretario Técnico:

Dr. Lorenzo Sánchez Vásquez
Abbott Laboratories de México
lorenzo.sanchezI@abbott.com

Consejeros Técnicos:

Dra. Minerva Cristina García Vargas
Tecnológico Nacional de México Campus Zitácuaro
minerva.gv@zitacuaro.tecnm.mx

Dr. Ramsés Flores Gama
Universidad Loyola del Pacífico
ramses.flores@loyola.edu.mx

Editor Responsable:

Mtro. Juan Pablo Díaz Moreno
Federación Global de Profesiones AC
congreso@federacionglobal.com

FEGLININ, año 9, No. 35, vol. 3, octubre - diciembre 2025, es una publicación trimestral editada por la Federación Global de Profesiones AC, calle Juan de Dios Bonilla, 11-c, Col. Alta Costa Azul, Acapulco de Juárez, Guerrero, México, C.P. 39850, TEL (722) 32-92-228, <https://www.federacionglobal.com>, administracion@federacionglobal.com, editor responsable: Juan Pablo Díaz Moreno. Reserva de Derecho al Uso Exclusivo No -en trámite-, ISSN: 2594-2298, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, secretaria general de la Federación Global de Profesiones AC, Lic. Sandra Patricia Vázquez Hernández, calle Juan de Dios Bonilla, 11-c, Col. Alta Costa Azul, Acapulco de Juárez, Guerrero, México, C.P. 39850, fecha de la última modificación, 14 de diciembre de 2025.

Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido publicado en esta revista, mismo que es propiedad y queda registrado a nombre de los autores; su reproducción no autorizada constituye una infracción y un delito de conformidad con las leyes aplicables

EDITORIAL

Las cosas no han estado sencillas ni hoy ni nunca en realidad, se ha hecho imperativo poner nuestro máximo esfuerzo en todas y cada una de las cosas que hacemos y para ello se requiere estar atentos a nuestro entorno y reconocer nuestra realidad en todos sus aspectos.

Ahora más que nunca, cuando estamos a unos pocos días de iniciar el 2026, nos damos cuenta de que se requiere trabajar mucho más arduamente en fortalecer los lazos institucionales que se ha tendido la Federación Global de Profesiones desde aquel 2017 cuando inicio operaciones esta asociación civil. Estas diferentes relaciones que se han formalizado a través de diversos convenios firmados bilateralmente y en algunos casos con varias instituciones más al mismo tiempo, le han ido dando forma a la Federación Global de Profesiones, pero sobre todo le han permitido cumplir con su misión al compartir por los medios establecidos material suficiente y amplio para establecer proyectos de gran impacto.

Estamos cerrando el 2025 y nos congratula recordar que durante este año se ha creado el que parece ser uno de los proyectos más significativos, no solo en la Federación Global de Profesiones, sino que, nos atrevemos a decir, también a nivel nacional, se trata de lanzamiento del estándar “FGDP-GCT01:2005”.

Dicho estándar garantiza para aquellas organizaciones privadas, gubernamentales, e incluso no gubernamentales, del sector educativo o del sector productivo, ya sea primario, secundario, o incluso terciario, que se decidan a CERTIFICARSE, una operatividad más eficaz y certera.

Estamos enfocados en generalizar la implementación a nivel nacional e incluso internacionalmente de dicho estándar para beneficio de la comunidad global.

Como siempre, gracias a todos por la confianza en esta su revista, pero sobre todo en lo que hacemos en la Federación Global de Profesiones

Atte:

Juan Pablo Díaz Moreno

Presidente de la FGDP

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA WEB DE DIFUSIÓN DE SABERES Y TURISMO COMUNITARIO DE TLACOACHISTLAHUACA

DEVELOPMENT OF A WEB PLATFORM FOR THE DISSEMINATION OF KNOWLEDGE AND COMMUNITY TOURISM IN TLACOACHISTLAHUACA



Dr. Bedolla Solano Juan Jose¹
M.C. Silvestre Bedolla Solano²
C. Lozano Olea Brayan Alexis³
C. Lorenzo Santiago Jose Luis⁴

RESUMEN

El presente estudio describe el diseño y desarrollo de una plataforma web para la difusión, preservación y comercialización de las artesanías de Tlacoachistlahuaca, Guerrero. Esta iniciativa busca resolver problemas como la falta de visibilidad y acceso a mercados locales y globales que enfrenta el municipio y específicamente en la actividad de la artesanía (Vestimenta y Alfarería). La plataforma se desarrolló utilizando tecnologías web accesibles y con las que ya se tiene un conocimiento previo y manejo (HTML, CSS, JavaScript) además se utiliza una metodología basada en fases que incluyeron investigación documental, un diseño centrado en el usuario, desarrollo de pruebas piloto y capacitación. Los resultados muestran una herramienta funcional que permite a los artesanos exhibir y vender sus productos, al mismo tiempo que preservar los saberes tradicionales y el turismo comunitario. Preservar las costumbres y tradiciones en comunidades rurales, contribuye al desarrollo económico local y a la conservación del patrimonio cultural.

ABSTRACT

The present study describes the design and development of a web platform for the dissemination, preservation, and commercialization of handicrafts from Tlacoachistlahuaca, Guerrero. This initiative seeks to address problems such as the lack of visibility and access to local and global markets faced by the municipality, specifically in the handicraft sector (clothing and pottery). The platform was developed using accessible web technologies with which there was prior knowledge and experience (HTML, CSS, JavaScript). Additionally, a phased methodology was employed, including documentary research, user-centered design, pilot testing, and training. The results demonstrate a functional tool that allows artisans to showcase and sell their products while preserving traditional knowledge and promoting community tourism. Preserving customs and traditions in rural communities contributes to local economic development and the conservation of cultural heritage.

Palabras clave: Comercio electrónico, preservación cultural, desarrollo sostenible, turismo comunitario, sistema de difusión de saberes,

¹ Dr. Bedolla Solano Juan Jose es profesor e investigador del Tecnológico Nacional de México campus Acapulco, México. juan.bs@acapulco.tecnm.mx

² M.C. Bedolla Solano Silvestre es profesor e investigador del Tecnológico Nacional de México campus Acapulco, México. silvestre.bs@acapulco.tecnm.mx

³ C. Lozano Olea Brayan Alexis es estudiante del Tecnológico Nacional de México campus Acapulco, México. C19321401@acapulco.tecnm.mx

⁴ C. Lorenzo Santiago Jose Luis es estudiante del Tecnológico Nacional de México campus Acapulco, México. L21321087@acapulco.tecnm.mx

Keywords: *Electronic commerce, cultural preservation, sustainable development, community tourism, knowledge dissemination system, Handicrafts, e-commerce, cultural preservation, sustainable development.*

INTRODUCCIÓN

La difusión de saberes culturales del municipio de Tlacoachistlahuaca refleja los conocimientos de los orígenes de la comunidad; siendo necesario difundirse a través de medio electrónicos, la promoción del conocimiento generar de la región a través de plataformas electrónicas. Tlacoachistlahuaca es un municipio ubicado en la región de la Costa Chica de Guerrero, México, es reconocido por su riqueza cultural y tradición artesanal, especialmente por sus tejidos elaborados por comunidades indígenas amuzgas y mixtecas (INEGI, 2020). Estas artesanías representan no solo una fuente de ingresos para las familias locales, sino también un legado cultural invaluable. Este municipio tiene una población con un total de 22,781 habitantes, de dicha cantidad, 46.6% hombres y 53.4% mujeres. Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 10 a 14 años (3,079 habitantes), 5 a 9 años (2,962 habitantes) y 0 a 4 años (2,606 habitantes). Entre ellos concentraron el 38% de la población total (Gobierno de México, 2020).

A pesar de ser un municipio con mucha riqueza cultural; este municipio presenta un alto rezago social. La falta de acceso a mercados más amplios es limitada, no existe la suficiente competencia de sus productos de artesanías, alfarería e industriales, y la escasa visibilidad en plataformas digitales dificultan su comercialización como el comercio electrónico. En la era de la globalización y el comercio electrónico, las comunidades artesanales deben adaptarse a nuevas formas de promoción y venta de sus productos para no quedar en desventaja frente a mercados más amplios (Chaffey, 2022).

Los artesanos de Tlacoachistlahuaca enfrentan dificultades en la comercialización de sus productos debido a la falta de acceso a mercados nacionales e internacionales (López & Ramírez, 2021), la escasa presencia en plataformas digitales debido a barreras tecnológicas y socioeconómicas (Chaffey, 2022), la competencia con productos industriales que imitan diseños tradicionales afectando el valor de las artesanías originales (Santos & Pérez, 2020) y las dificultades en la promoción del turismo comunitario debido a la falta de infraestructura digital (Martínez, 2018).

El desarrollo de plataformas de difusión en la web promueve el desarrollo de las comunidades que se contemplan como las más marginadas. El presente estudio describe el diseño y desarrollo de una plataforma web para la difusión, preservación y comercialización de las artesanías de Tlacoachistlahuaca, Guerrero. Esta iniciativa busca resolver problemas como la falta de visibilidad y acceso a mercados locales y globales que enfrenta el municipio y específicamente en la actividad de la artesanía (Vestimenta y Alfarería). La plataforma se desarrolló utilizando tecnologías web accesibles y con las que ya se tiene un conocimiento previo y manejo (HTML, CSS, JavaScript) además se utiliza una metodología basada en fases que incluyeron investigación documental, un diseño centrado en el usuario, desarrollo de pruebas piloto y capacitación. Los resultados muestran una herramienta funcional que permite a los artesanos exhibir y vender sus productos, al mismo tiempo que preservar los saberes tradicionales y el turismo comunitario. Preservar las costumbres y tradiciones en

comunidades rurales, contribuye al desarrollo económico local y a la conservación del patrimonio cultural.

Una plataforma digital es un entorno virtual que permite la interacción entre usuarios, empresas y sistemas a través de internet, facilitando el intercambio de información, productos o servicios (Alfredo J. Huerta, 2025). Los saberes comunitarios son conocimientos y experiencias acumuladas de los pueblos que son transmitidos mediante la observación, la práctica, la reproducción, leyendas, mitos, historias de vida y en general mediante la oralidad, a las nuevas generaciones. Estos conocimientos implican organización social, actividades económicas, cosmovisiones, técnicas y tecnologías donde ha incidido una serie de aspectos (económicos, institucionales y de saberes tradicionales) (Diosey Ramón, 2018). Además, Una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático (Oracle, 2020) esta base de datos fue de gran ayuda para almacenar información relevante sobre artesanos, productos y experiencias turísticas.

El objetivo principal del estudio es implementar la difusión de saberes, turismo comunitario y actividades económicas del municipio de Tlacoachistlahuaca mediante una plataforma web intuitiva y accesible que permita a los artesanos y autoridades de cultura y turismo del municipio gestionar y promocionar sus artesanías. Para ello, se propone implementar tecnologías web modernas y bibliotecas de código para la visualización de la información, diseñar una interfaz amigable basada en metodologías de diseño centrado en el usuario, integrar estrategias de marketing digital para aumentar la visibilidad de las artesanías y el turismo comunitario y brindar capacitación a los artesanos y operadores turísticos en el uso de la plataforma para garantizar su adopción y sostenibilidad. El estudio contempla el desarrollo de una plataforma con tecnologías web y sistema de bases de datos que organizan la información para poder ser difundida de manera electrónica generando el desarrollo económico y difusión de los saberes culturales.

Finalmente, este proyecto sienta un precedente para futuras intervenciones tecnológicas en comunidades rurales, demostrando que la innovación y la tradición pueden coexistir para generar modelos sostenibles de crecimiento económico y conservación cultural. La plataforma no solo es una solución práctica para la comercialización, sino también un testimonio de resistencia cultural en un mundo cada vez más globalizado.

METODOLOGÍA

Tipo de estudio

La investigación realizada es de tipo aplicada ya que esta se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren con anterioridad. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última ya que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. De este modo, la investigación aplicada, está dirigida para trabajos que incursionan las tecnologías considerando actividades aplicadas para el aprendizaje (Bedolla et al., 2023).

Ya que se tiene como propósito resolver un problema concreto: la falta de una plataforma digital para la difusión, preservación y comercialización de las artesanías de Tlacoachistlahuaca. Así como también tiene un enfoque cuantitativo y cualitativo, combinando el análisis de datos numéricos (como la cantidad de artesanos que adoptan la plataforma) con la comprensión profunda de las necesidades y contextos de los artesanos (a través de entrevistas, observaciones y análisis de sus saberes tradicionales).

Instrumento

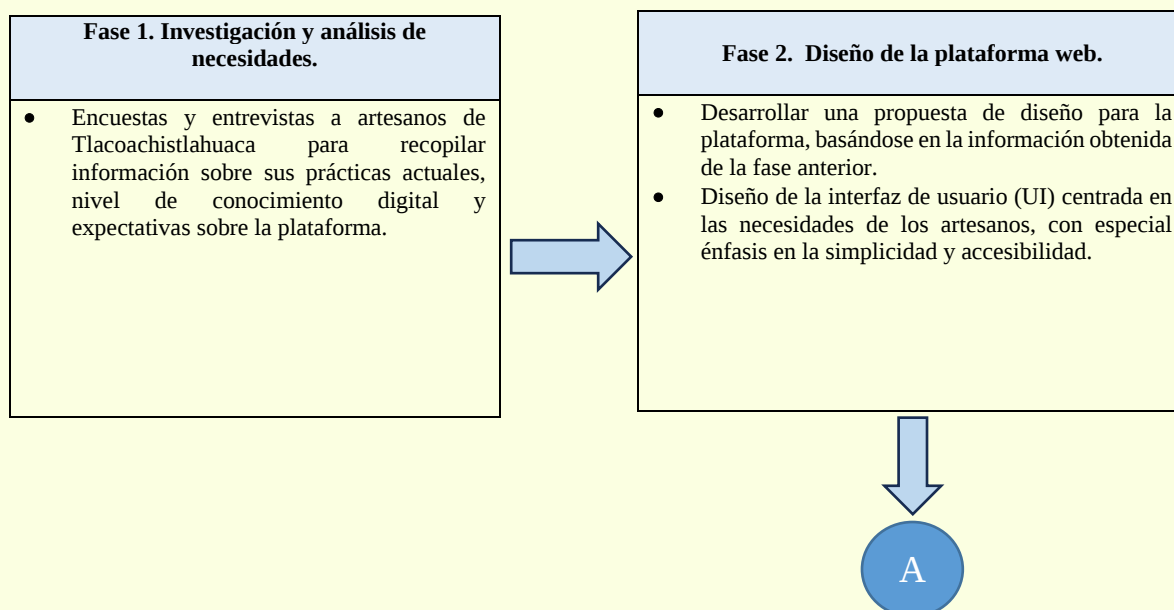
Para la obtención de datos se realizó una recopilación de información sobre el municipio de Tlacoachistlahuaca. Esta información permitió identificar sus necesidades y documentar sus conocimientos tradicionales para su correcta digitalización en la plataforma.

Además, se emplearon metodologías de desarrollo de software como Cascada, las cuales permitieron gestionar el proyecto de manera eficiente, estableciendo fases definidas y mejorando la adaptabilidad a los requerimientos de los artesanos.

Para la organización y almacenamiento de datos, se realizó un modelado de datos, diseñando una base de datos estructurada que almacena la información de los artesanos, sus productos y sus características culturales.

Procedimientos

El método utilizado para el desarrollo de la plataforma web fue el modelo en cascada, ya que permite seguir un enfoque secuencial y estructurado para la construcción del sistema. Esta metodología permite una planeación detallada desde la recopilación de requisitos hasta el despliegue y evaluación final, lo cual es ideal para proyectos con objetivos definidos, como la creación de una plataforma web para la difusión de saberes y artesanías del municipio. En la Figura 1 se representa el proceso metodológico utilizado para el diseño y desarrollo de la plataforma web, se dividió en las siguientes fases:



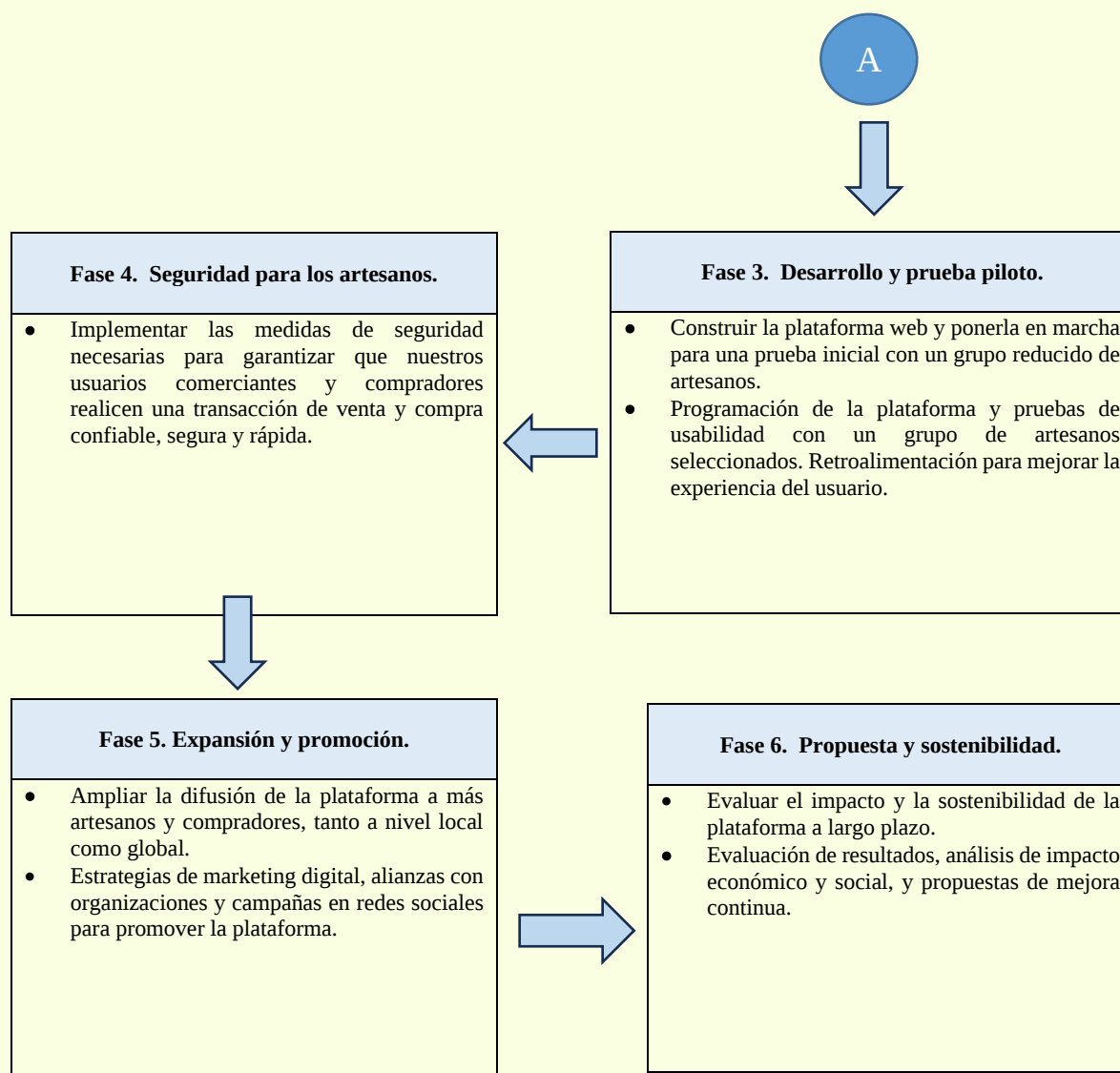


Figura 1. Esquema metodológico de las fases del desarrollo de la plataforma web. Fuente: Elaboración propia.

Fase 1. Investigación y análisis de necesidades

En la primera fase se realizaron encuestas y entrevistas a artesanos del municipio de Tlacoachistlahuaca, Gro., con el propósito de recopilar información sobre sus prácticas actuales, nivel de conocimiento digital y expectativas respecto al uso de una plataforma digital. Esta recolección permitió entender mejor el contexto sociocultural y tecnológico de los artesanos, lo cual sirvió como base para el diseño centrado en sus necesidades.

Fase 2. Diseño de la plataforma web

En la segunda fase se desarrolló una propuesta de diseño inicial para la plataforma, tomando en cuenta la información recopilada en la fase anterior. Se diseñó la interfaz de usuario (UI) con un enfoque accesible para los artesanos, priorizando la simplicidad, claridad y facilidad de navegación. Este diseño buscó fomentar la inclusión digital y promover la apropiación tecnológica por parte de los usuarios.

Fase 3. Desarrollo y prueba piloto

En la tercera fase se construyó la plataforma web con base en el diseño propuesto, y se realizó una prueba piloto con un grupo seleccionado de artesanos. Durante esta etapa se recopilaron observaciones y retroalimentación directa sobre la experiencia de uso. Esto permitió ajustar y mejorar elementos técnicos y visuales de la plataforma, asegurando que fuera comprensible y funcional para los usuarios objetivo.

Fase 4. Seguridad para los artesanos

En la cuarta fase se implementaron medidas técnicas de seguridad para proteger la información y garantizar que los artesanos pudieran realizar transacciones de venta y contacto con compradores de manera segura. Se consideraron prácticas recomendadas en cuanto a protección de datos personales y comercio digital, promoviendo así la confianza en el uso de la plataforma.

Fase 5. Expansión y promoción

En la quinta fase se diseñaron estrategias para ampliar la difusión de la plataforma entre los artesanos a nivel local, regional y nacional. Se incluyeron campañas de sensibilización digital, así como el uso de redes sociales, medios impresos y colaboraciones con instituciones culturales. El objetivo fue promover el uso constante y sostenido de la plataforma por parte de nuevos usuarios.

Fase 6. Propuesta y sostenibilidad

En la sexta fase se plantearon acciones para evaluar el impacto de la plataforma a largo plazo. Esto incluyó la evaluación de resultados, análisis de indicadores de uso, sostenibilidad económica, y la generación de propuestas de mejora continua. Asimismo, se consideró la posibilidad de extender el modelo a otras regiones con características similares.

RESULTADOS

Como resultado, se cuenta con un sistema de difusión alojado en la web, orientado a la difusión de saberes comunitarios y al fortalecimiento del turismo en Tlacoachistlahuaca, misma que contiene una estructura de información turística, cultural y además se promueve el comercio electrónico de sus principales actividades como la Artesía. También se tiene un catálogo de información turística que busca promover el turismo de la comunidad y el comercio electrónico.

Este sitio fue elaborado con tecnologías web como HTML, CSS y JavaScript para el frontend, y se integrará posteriormente con una base de datos en MySQL que almacenará información de usuarios, artesanos y productos artesanales.

La figura 2 se observa la pantalla de inicio de la plataforma web diseñada para promover la cultura y el turismo comunitario en Tlacoachistlahuaca. En la parte superior, se incluye un encabezado con los logotipos del Gobierno de México, la Secretaría de Educación Pública y el Tecnológico Nacional de México, lo que refuerza el respaldo institucional del proyecto.

El cuerpo principal de la página destaca un banner con una imagen aérea del municipio, acompañada por un título y una breve descripción que enfatiza la riqueza artesanal de la región. Justo debajo, se presentan las principales atracciones turísticas en forma de tarjetas interactivas, cada una con un título, imagen y descripción del atractivo correspondiente.

En la parte inferior, la sección "Acerca de Nosotros" explica la misión de la plataforma y su enfoque en la preservación de tradiciones artesanales. Finalmente, se listan los autores responsables del desarrollo del sitio web, otorgando crédito a los colaboradores del proyecto.

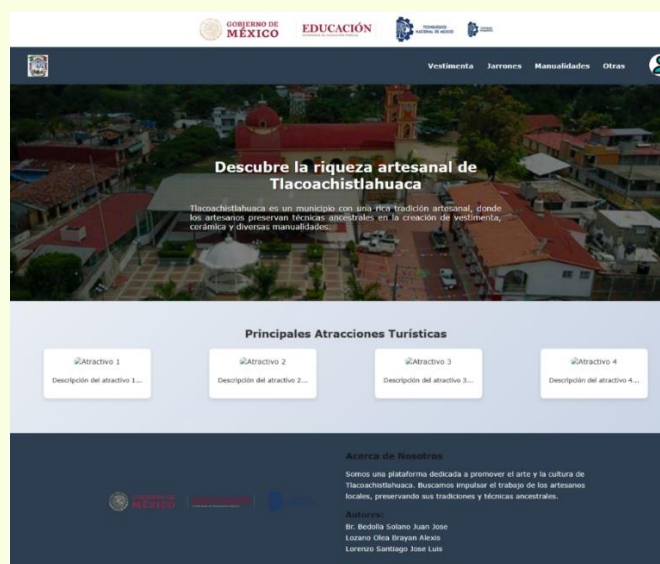


Figura 2. Sección principal de la plataforma web de difusión de saberes de Tlacoachistlahuaca.
Fuente: Plataforma web.

La figura 3 muestra la sección específica dedicada a los Jarrones Artesanales dentro de la plataforma web. Esta interfaz sigue el mismo esquema visual del sitio, con un encabezado que incluye los logotipos oficiales del Gobierno de México, la Secretaría de Educación Pública y el Tecnológico Nacional de México.

En la parte superior izquierda, se observa el título de la sección: "Artesanías de Tlacoachistlahuaca", que indica la categoría general a la que pertenece este apartado. Debajo, en un contenedor de fondo claro, se presentan dos tarjetas con imágenes y descripciones de jarrones artesanales disponibles en la comunidad.

La estructura de esta sección facilita la navegación y el acceso a información sobre cada jarrón. Además, en la parte inferior, se incluye un botón de navegación "← Volver a Inicio", que permite a los usuarios regresar fácilmente a la página principal.

Este diseño busca ofrecer una interfaz intuitiva y accesible para la exploración de los productos artesanales, promoviendo su reconocimiento y comercialización a través de medios digitales.

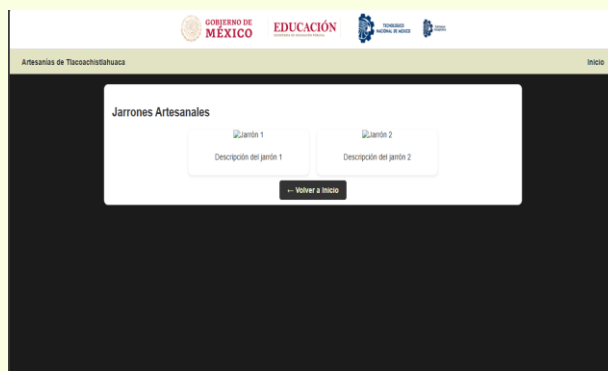


Figura 3. Apartado de Jarrones Artesanales en la plataforma web.

Fuente: Plataforma web.

La figura 4 muestra la sección dedicada a la Vestimenta Tradicional dentro de la plataforma web de difusión de saberes de Tlacoachistlahuaca. Esta página mantiene una estructura visual coherente con el resto del sitio, incluyendo un encabezado con los logotipos institucionales del Gobierno de México, la Secretaría de Educación Pública y el Tecnológico Nacional de México.

En la parte superior izquierda, el título "Artesanías de Tlacoachistlahuaca" indica la categoría principal, mientras que en el centro se presenta el subtítulo "Vestimenta Tradicional", que define el contenido específico de esta sección.

La interfaz dispone de un contenedor con fondo claro en el que se muestran dos tarjetas interactivas con imágenes y descripciones de prendas artesanales. Esta disposición facilita la exploración de los productos, destacando la riqueza textil de la comunidad.

Al igual que en otras secciones, se incluye un botón de navegación "← Volver a Inicio", que permite regresar a la página principal de manera rápida y sencilla, mejorando la experiencia del usuario.

Este apartado refuerza la visibilidad de las prendas tradicionales de Tlacoachistlahuaca, promoviendo su preservación y apreciación dentro y fuera de la comunidad.

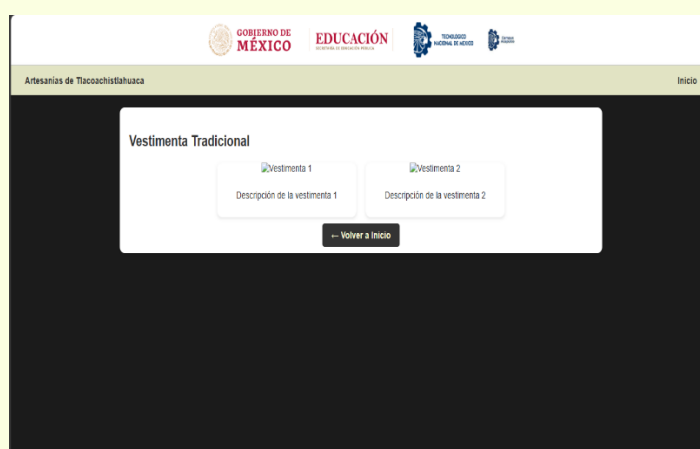


Figura 4. Apartado de Vestimenta Tradicional en la plataforma web.

Fuente: Plataforma web.

La figura 5 muestra la sección dedicada a las Manualidades Tradicionales dentro de la plataforma web de difusión de saberes de Tlacoachistlahuaca. La interfaz mantiene la estructura visual del sitio, con un diseño organizado y accesible para los usuarios.

En la parte superior, el encabezado incluye los logotipos oficiales del Gobierno de México, la Secretaría de Educación Pública y el Tecnológico Nacional de México, lo que refuerza la institucionalidad del proyecto. A la izquierda, el título "Artesanías de Tlacoachistlahuaca" indica la categoría general, mientras que en el centro se destaca el subtítulo "Manualidades Tradicionales", especificando el contenido de esta sección.

El diseño presenta un contenedor con fondo claro donde se encuentran dos tarjetas interactivas, cada una con una imagen y una breve descripción de diferentes manualidades elaboradas por los artesanos locales. Esta disposición permite una visualización clara y atractiva de los productos.

En la parte inferior, se encuentra el botón de navegación "← Volver a Inicio", que facilita el regreso a la página principal, mejorando la experiencia del usuario y permitiendo una exploración más eficiente de la plataforma.

Este apartado resalta la creatividad y la diversidad de las manualidades elaboradas en Tlacoachistlahuaca, promoviendo su conservación y difusión a través de medios digitales.

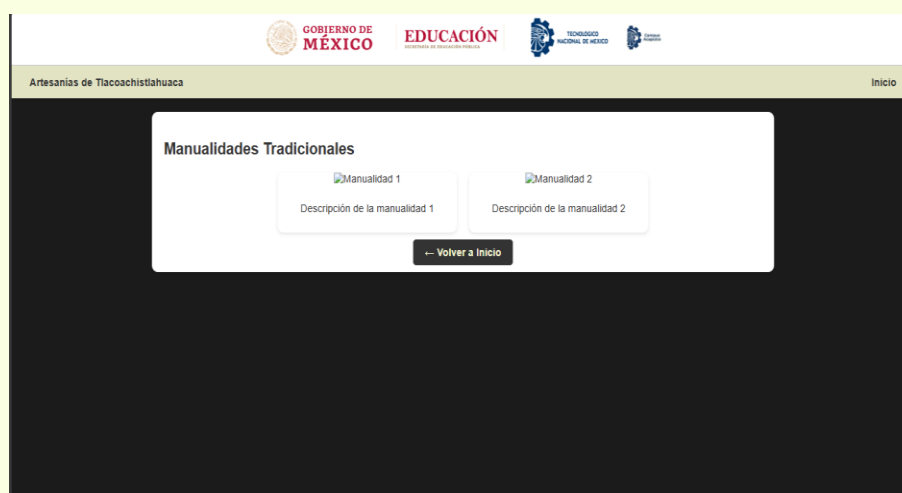


Figura 5. Apartado de Manualidades Tradicionales en la plataforma web.

Fuente: Plataforma web.

La figura 6 muestra la sección "Otras Artesanías" dentro de la plataforma web de difusión cultural de Tlacoachistlahuaca. La interfaz mantiene el diseño organizado y accesible del sitio, con elementos visuales coherentes para garantizar una experiencia intuitiva.

Esta sección busca ampliar la visibilidad de las artesanías menos conocidas de Tlacoachistlahuaca, destacando su diversidad y fomentando su preservación mediante herramientas digitales. La combinación de elementos interactivos y descripciones concisas refleja el compromiso de la plataforma con la difusión del patrimonio cultural de manera clara y atractiva.

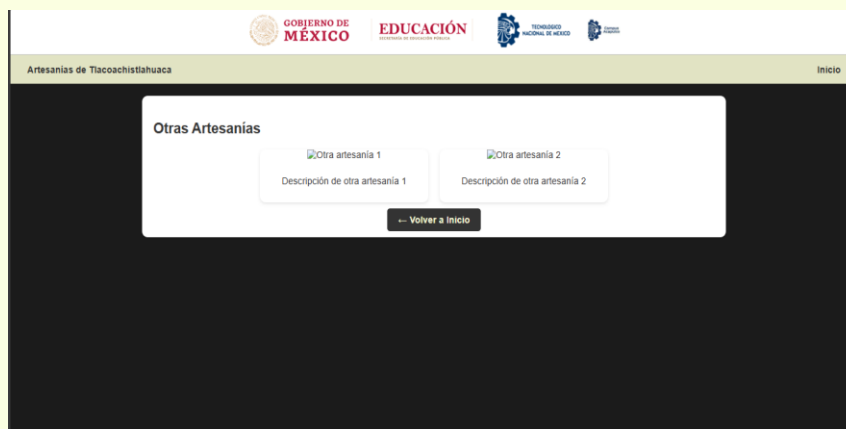


Figura 6. Apartado de Otras Artesanías en la plataforma web.

DISCUSIÓN

El desarrollo de una página web interactiva para la promoción del turismo comunitario y la venta de artesanías en Tlacoachistlahuaca, Guerrero, refleja la creciente importancia de la digitalización en sectores tradicionales. De acuerdo con Chaffey (2022), el comercio electrónico ha permitido a pequeños productores y comunidades acceder a mercados globales, lo que fortalece la economía local. En este sentido, la implementación de tecnologías web modernas, como menús dinámicos, galerías interactivas y mapas, mejora la experiencia del usuario y facilita la interacción con los productos y servicios ofertados.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de la plataforma web para la difusión y comercialización de artesanías en Tlacoachistlahuaca representa un avance significativo en la preservación cultural y el impulso económico de la comunidad. A través del uso de tecnologías accesibles y un enfoque centrado en las necesidades de los artesanos, se logró crear una herramienta funcional que facilita la promoción y venta de productos tradicionales, al mismo tiempo que fomenta el turismo comunitario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bedolla Solano, J. J., Bedolla Solano, R., & Miranda Esteban, A. (2023). Prácticas digitales y sostenibilidad socioambiental en la educación básica de las Smart Cities. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 23(72). <https://doi.org/10.6018/red.533831>.
- Chaffey, D. (2022). *Digital marketing: Strategy, implementation and practice*. Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/digital-marketing-strategy-implementation-and-practice/P200000007146>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Censo de población y vivienda 2010. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Estadísticas de población y vivienda 2021. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2021/>
- Martínez, C. (2018). *Infraestructura digital y desarrollo turístico en comunidades indígenas*. Editorial Trillas.
- Santos, P., & Pérez, R. (2020). *Competencia de productos industriales y su impacto en la producción artesanal en México*. Universidad Autónoma Metropolitana.

DESERCIÓN UNIVERSITARIA EN REGIONES DE MÉXICO: FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y ACADÉMICOS QUE IMPULSAN LA DESERCIÓN ESTUDIANTIL

UNIVERSITY DROPOUT IN REGIONAL MEXICO: SOCIOECONOMIC
AND ACADEMIC DRIVERS OF STUDENT ATTRITION



MCTE Liliana Venegas Michel¹
Dr. Manuel Antonio Tovilla Espadas²
Mtra. Alejandra Delgado Urbina³
Dra. María del Carmen Clara Arcos Ortega⁴

RESUMEN

La deserción universitaria en México es el resultado de factores académicos y socioeconómicos que se intensifican en regiones vulnerables. Este estudio analizó el caso de la Licenciatura en Administración del Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ), relacionando la permanencia y eficiencia terminal con variables como la economía familiar, migración, inseguridad, becas y comercio informal. Se aplicó un enfoque mixto, integrando datos estadísticos de la plataforma MindBox, reflexiones cualitativas de estudiantes y un análisis PESTEL de Michoacán y Zitácuaro. Los resultados indican que los factores externos amplifican el impacto de la reprobación académica, afectando principalmente a las cohortes 2017–2019. Se concluye que la deserción es un fenómeno estructural que requiere políticas institucionales y regionales orientadas a la equidad, programas de apoyo y modelos flexibles para que los estudiantes concilien sus condiciones socioeconómicas con su trayectoria.

ABSTRACT

University dropout in Mexico results from the interaction of academic and socioeconomic factors, which are intensified in vulnerable regions. This study analyzes the case of the bachelor's degree in business administration at the Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ), linking retention and graduation efficiency indicators with variables such as family economy, migration, insecurity, commuting, scholarships, and informal trade. A mixed-method approach was applied, integrating statistical data from the MindBox platform, students' qualitative reflections, and a PESTEL analysis of Michoacán and Zitácuaro. Findings indicate that external conditions amplify the impact of academic failure, especially for the 2017–2019 cohorts. The study concludes that dropout must be addressed as a structural phenomenon that requires institutional and regional policies aimed at equity, the strengthening of support programs, and the design of flexible models that allow students to reconcile their socioeconomic conditions with their academic trajectory.

Palabras clave: deserción, permanencia, factores socioeconómicos, educación superior, Michoacán.

Key Words: dropout, retention, socioeconomic factors, higher education, Michoacán.

¹ MCTE Liliana Venegas Michel, es Maestra en Comunicación y Tecnologías Educativas por el ILCE, Profesora Investigadora del TECNM Campus Zitácuaro y miembro del NAB de la Maestría en Gestión Administrativa liliana.vm@zitacuaro.tecnm.mx

² Dr. Manuel Antonio Tovilla Espadas, es Doctor en Finanzas por el Instituto de Estudios Superiores en Finanzas (Campus Morelia), Profesor Investigador del TECNM Campus Zitácuaro y miembro del NAB de la Maestría en Gestión Administrativa manuel.te@zitacuaro.tecnm.mx

³ Mtra. Alejandra Delgado Urbina es jefa del Departamento de CEA del Tecnológico Nacional de México/IT Zitácuaro, alejandra.du@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ María del Carme Clara Ortega Arcos Ortega, Docente de la Maestría en Gestión Empresarial del Tecnológico Nacional de México/IT Zitácuaro, maria.ao1@zitacuaro.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

La permanencia en la educación superior es un indicador crucial de calidad educativa. En México, con profundas brechas sociales y económicas, la deserción es un obstáculo estructural para la movilidad social. Solo seis de cada diez estudiantes de educación superior logran concluir sus estudios.

Planteamiento del Problema: En el estado de Michoacán, un contexto complejo por la inseguridad, dependencia de remesas, migración e informalidad laboral, el Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ) presenta una tasa de abandono en los primeros tres semestres significativamente mayores que en instituciones de zonas más urbanizadas. La literatura internacional documenta la necesidad de atender factores internos (académicos) y externos (socioeconómicos). En el ITZ, la reprobación, la falta de tutorías y la rigidez curricular se combinan con presiones familiares, laborales y comunitarias que restringen la continuidad escolar.

Objetivos: Analizar los factores académicos y socioeconómicos que explican la deserción universitaria en el ITZ, aportar evidencia empírica desde un contexto regional vulnerable, y ofrecer propuestas de mejora alineadas con las recomendaciones de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior en México (ANUIES), la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración (ANFECA) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 4 y ODS 10).

Marco Teórico: La investigación se basa en el enfoque integral que articula variables académicas (reprobación, rezago) y socioeconómicas (ingresos familiares, inseguridad, migración, becas). Se sustenta en la teoría de Tinto (2012) sobre la influencia de la integración académica y social en la permanencia, y en estudios de América Latina que destacan el rol de la necesidad de incorporarse al mercado laboral y la insuficiencia de apoyos financieros.

METODOLOGÍA

El diseño metodológico de esta investigación se fundamenta en la necesidad de comprender la deserción universitaria como un fenómeno complejo y multidimensional, en el que confluyen variables académicas, socioeconómicas y contextuales. Para ello, se optó por un enfoque mixto (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023), que permitió articular el rigor de los datos cuantitativos con la riqueza interpretativa de la información cualitativa. Este abordaje fue clave para obtener una visión integral del problema, evitando reducirlo a simples indicadores numéricos y, en cambio, reconociendo los matices de las experiencias estudiantiles en un entorno regional caracterizado por vulnerabilidades sociales y económicas.

1. **Datos Institucionales (Cuantitativos):** Se utilizaron registros de la plataforma MindBox del ITZ, con énfasis en los índices de egreso, eficiencia terminal, reprobación y rezago de las cohortes 2017–2019, lo que permitió trazar tendencias objetivas de la permanencia escolar.

2. Cuestionarios y Reflexiones Cualitativas: Se aplicaron a 95 estudiantes de la Licenciatura en Administración, indagando en percepciones sobre causas de desertión, condiciones familiares, experiencias de inseguridad y apoyos económicos. Estos insumos cualitativos aportaron testimonios valiosos que dieron voz a los estudiantes y contextualizaron los datos duros.
3. Análisis PESTEL: Se integró para caracterizar el entorno político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal de Michoacán y Zitácuaro, ampliando el diagnóstico desde una perspectiva macro y situando al fenómeno en su complejidad territorial.

El análisis PESTEL permitió contextualizar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que inciden en la permanencia estudiantil en el Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ). El diagnóstico se elaboró mediante la triangulación de estadísticas del INEGI, datos del Banco de México sobre remesas y reportes de prensa local, lo que facilitó identificar los principales retos de regiones vulnerables como Zitácuaro.

En el ámbito político, la gobernanza inestable y la presencia de grupos criminales en Michoacán han configurado un entorno de inseguridad que impacta directamente en la vida estudiantil. Los altos índices delictivos limitan la movilidad de los jóvenes, generan riesgos en los traslados al campus y propician ausentismo, afectando la continuidad académica.

Desde la dimensión económica, Michoacán ocupa de manera constante los primeros lugares en la recepción de remesas, con un registro nacional superior a los 64 mil millones de dólares en 2024. Aunque estos recursos son un sostén familiar clave, generan dependencia e incentivan la migración hacia Estados Unidos o Canadá, reduciendo el interés por concluir estudios universitarios. A esto se añade el peso del comercio informal en Zitácuaro, que brinda ingresos inmediatos pero precarios y compite con la formación académica.

En el plano social, la migración internacional ha configurado un imaginario donde el éxito se asocia más con la movilidad laboral que con la titulación profesional. Esta percepción, sumada a la prevalencia de familias monoparentales y a la carga de responsabilidades de cuidado, refuerza la vulnerabilidad estudiantil. Además, la inseguridad generalizada limita los espacios y tiempos para el desarrollo de actividades académicas.

El componente tecnológico muestra avances en conectividad a nivel nacional, aunque persiste una marcada brecha digital en zonas semirurales. Mientras en contextos urbanos la cobertura de internet supera el 80 %, en comunidades rurales apenas alcanza el 68 %. En Zitácuaro, esta situación restringe el acceso a plataformas educativas, recursos digitales y tutorías en línea, colocando a los estudiantes en desventaja frente a regiones mejor equipadas.

El análisis ecológico evidencia que la deforestación, los incendios forestales y la variabilidad climática afectan la economía agrícola de Michoacán. Estas contingencias reducen los ingresos familiares y obligan a los jóvenes a dedicar tiempo a actividades productivas, lo que interfiere con su trayectoria académica.

Finalmente, la dimensión legal revela que la normatividad educativa nacional se encuentra en proceso de armonización con organismos como la ANFECA y los CIEES, que exigen

mejorar la permanencia, eficiencia terminal y titulación. Al mismo tiempo, lineamientos como el Programa Institucional de Tutorías del TecNM y el Marco Nacional de Cualificaciones ofrecen oportunidades para flexibilizar trayectorias y atender las necesidades de los estudiantes.

Tabla 1. Análisis PESTEL con indicadores clave de Michoacán y Zitácuaro

Dimensión	Indicador	Fuente	Relevancia para la permanencia
Político	Tasa de homicidios 2024 en México (~26,700 casos, 70 diarios)	SESNSP / INEGI / El País (2024)	La inseguridad afecta la movilidad y asistencia regular al campus
Económico	Remesas 2024: 64,745 mdd; Michoacán entre principales receptores	Banco de México / BBVA Research (2024)	Dependencia de remesas genera incertidumbre y presión de migrar
Social	Migración internacional (Michoacán como uno de los estados de mayor expulsión)	INEGI / Encuestas migratorias (2020-2024)	La migración reduce la prioridad de concluir estudios universitarios
Tecnológico	Hogares con Internet 2024: 73.6% nacional; zonas rurales 68.5%	INEGI, ENDUTIH (2024)	Brecha digital limita acceso a plataformas educativas y tutorías
Ecológico	Deforestación y riesgo de incendios forestales (impacto en economía agrícola)	CONAFOR (2023-2024)	Eventos ambientales disminuyen ingresos familiares y fomentan abandono
Legal	Lineamientos de ANFECA y CIEES sobre permanencia, egreso y titulación	ANFECA, CIEES, SEP (2024)	Normatividad impulsa indicadores de permanencia y eficiencia terminal

Fuente: Elaboración propia con base en SESNSP, INEGI, Banco de México, CONAFOR, ANFECA, CIEES, SEP y reportes de prensa (2024).

El análisis PESTEL realizado establece una conexión directa y contundente con el objetivo central de este artículo, al evidenciar que la deserción universitaria en el Instituto Tecnológico de Zitácuaro no puede entenderse de manera aislada, sino como el resultado de un entramado estructural donde confluyen factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales. La inseguridad regional condiciona la movilidad y asistencia; la dependencia de remesas y el peso del comercio informal generan incertidumbre económica y expectativas migratorias; la brecha digital limita el acceso a recursos académicos; los fenómenos ambientales impactan en los ingresos familiares; y la normatividad educativa exige resultados de permanencia y eficiencia terminal que chocan con un contexto adverso. De esta manera, el PESTEL no solo contextualiza el problema, sino que demuestra cómo los determinantes externos amplifican los efectos de la reprobación académica, reforzando la necesidad de estrategias institucionales diferenciadas y políticas públicas regionales que garanticen equidad y continuidad en la educación superior.

En conclusión, el análisis PESTEL demuestra que la permanencia en el ITZ está determinada por un entramado de factores externos que, al combinarse con retos académicos internos como la reprobación en asignaturas críticas, configuran un fenómeno estructural de deserción. En consecuencia, se requieren estrategias diferenciadas y políticas contextualizadas que garanticen la equidad educativa en regiones de alta vulnerabilidad.

RESULTADOS

El estudio realizado en la Licenciatura en Administración del Instituto Tecnológico de Zitácuaro permite identificar, a partir de los datos institucionales y de las percepciones estudiantiles, un panorama complejo en el que confluyen factores académicos, socioeconómicos y contextuales. Los hallazgos confirman que la deserción no responde a una única causa, sino a la interacción de múltiples variables que, en conjunto, condicionan la permanencia y la eficiencia terminal de las cohortes analizadas. A continuación, se presentan los principales resultados organizados en tres dimensiones clave: académica, socioeconómica y de entorno, esta última analizada a través del modelo PESTEL.

1. Factores académicos

La reprobación en asignaturas críticas de primer y segundo semestre, como Matemáticas Aplicadas, Contabilidad General, Estadística I y Derecho Laboral, se identificó como el principal detonante del rezago académico. El 42 % de los estudiantes reprobaron al menos una de estas materias en su primer año, lo que generó retrasos en su trayectoria y, en muchos casos, abandono definitivo. Las percepciones recabadas refuerzan esta evidencia: los estudiantes señalaron la falta de acompañamiento docente y de programas de tutoría efectivos, destacando que, aunque existe un esquema institucional, su cobertura y seguimiento resultan limitados. La rigidez curricular también fue señalada como un obstáculo, ya que impide avanzar en otras materias cuando se arrastran asignaturas reprobadas, lo que incrementa la frustración y la desmotivación.

2. Factores socioeconómicos

En el plano socioeconómico, los hallazgos muestran la influencia decisiva de las condiciones familiares y comunitarias en la continuidad escolar. La dependencia de remesas, recurso fundamental en Michoacán, genera incertidumbre y fomenta expectativas de migración: varios estudiantes señalaron que sus padres esperaban que emigraran a Estados Unidos o Canadá para contribuir con envíos de dinero, reduciendo la prioridad de concluir la carrera. La migración internacional se percibe, entonces, como un proyecto de vida más atractivo que la formación profesional, especialmente ante la percepción de bajos salarios locales.

Asimismo, una proporción considerable de estudiantes combina estudios con actividades en el comercio informal, como mercados o transporte, lo que, aunque ofrece ingresos inmediatos, ocasiona conflictos con los horarios académicos y merma el rendimiento. A ello se suma la inseguridad regional, que complica los traslados y genera temor, sobre todo en horarios nocturnos. Casos de asaltos y violencia fueron mencionados como factores que influyen indirectamente en la decisión de desertar. Finalmente, los programas de becas y apoyos se perciben como insuficientes o de difícil acceso: la mayoría de los entrevistados declaró no haber recibido beca o haberla perdido por trámites burocráticos, lo que profundiza la desigualdad y limita las oportunidades de permanencia.

3. Análisis PESTEL de Michoacán y Zitácuaro

El análisis del entorno mediante el modelo PESTEL evidenció condiciones estructurales que amplifican los riesgos de abandono escolar. En el ámbito político, se observa una gobernanza inestable y la presencia de grupos criminales que afectan directamente la seguridad estudiantil. En lo económico, la dependencia de remesas, la baja formalización del empleo y la expansión del comercio informal configuran un escenario de vulnerabilidad. En la dimensión social, la migración constante hacia Estados Unidos y Canadá, junto con la desigualdad social, marcan las expectativas y decisiones de los jóvenes. Tecnológicamente, la persistente brecha digital y las limitaciones de conectividad en zonas rurales reducen el acceso a recursos de aprendizaje virtual. En el ámbito ecológico, los problemas de deforestación e incendios impactan en la economía agrícola, afectando ingresos familiares. Finalmente, en el aspecto legal, se evidencian debilidades en la aplicación de políticas de apoyo estudiantil, lo que limita la efectividad de programas diseñados para fomentar la permanencia.

En conjunto, los resultados confirman que la deserción en el ITZ es el reflejo de una interacción compleja entre el desempeño académico, las condiciones socioeconómicas de las familias y un entorno regional adverso. La reprobación en asignaturas clave no puede explicarse sin considerar el peso de factores externos como la inseguridad, la dependencia de remesas o la falta de conectividad digital. Estos hallazgos resaltan la urgencia de diseñar estrategias institucionales y políticas públicas diferenciadas que reconozcan la especificidad regional, fortaleciendo los programas de apoyo y promoviendo modelos flexibles que permitan a los estudiantes enfrentar con mayores posibilidades los desafíos que condicionan su permanencia en la educación superior.

En conjunto, la metodología adoptada permitió triangular fuentes y perspectivas, asegurando solidez en los hallazgos y coherencia entre el análisis estadístico, las narrativas estudiantiles y el contexto regional. Este enfoque integral no solo facilitó identificar las principales causas de la deserción, sino que también abrió la posibilidad de formular propuestas diferenciadas y contextualizadas, fortaleciendo la pertinencia de la investigación para la toma de decisiones institucionales y de política educativa.

CONCLUSIONES

El estudio confirma que la deserción en el Instituto Tecnológico de Zitácuaro (ITZ) es un fenómeno multicausal y estructural, donde la reprobación en los primeros semestres amplifica la vulnerabilidad académica y se entrelaza con factores económicos, de inseguridad y migración que limitan la recuperación de los estudiantes. A diferencia de contextos urbanos con mayor infraestructura y apoyos, Zitácuaro enfrenta condiciones de rezago que requieren estrategias diferenciadas de calidad educativa y políticas de acompañamiento integral.

Se recomienda fortalecer programas de becas regionales, implementar modelos flexibles que concilien estudio y trabajo, y potenciar tutorías y mentorías sensibles a la diversidad social. Además, urge establecer sistemas digitales de alerta temprana, generar proyectos de movilidad segura en alianza con organismos locales y promover la formalización del empleo juvenil. La investigación futura debe explorar el impacto de la inseguridad y evaluar la efectividad de estos modelos innovadores en la permanencia y eficiencia terminal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANFECA & CIEES. (2024). *Certificación y lineamientos para acreditación*. Recuperado de <https://anfeca.unam.mx>
- ANUIES. (2022). *Estadísticas de la Educación Superior en México*. Ciudad de México.
- Banco de México. (2024). *Informe de remesas familiares por entidad federativa*. Ciudad de México.
- Banco de México. (2024). *Remesas por entidad (CA79) y por municipio (CE166)*. Ciudad de México.
- BBVA Research. (2024). *México: remesas, cierre anual 2024 (64,745 mdd; +2.3%)*. Ciudad de México.
- CONAFOR. (2024). *Avances y resultados del PNF 2023–2024*. Comisión Nacional Forestal.
- Data México–Secretaría de Economía. (2020). *Perfil geográfico de Zitácuaro (población 2020)*. Recuperado de <https://datamexico.org>
- El País. (2024). *Síntesis de homicidios 2024 en México: contexto nacional*. Recuperado de <https://elpais.com>
- Gobierno de México – SESNSP. (2024). *Datos abiertos de incidencia delictiva estatal*. Recuperado de <https://www.gob.mx/sesnsp>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- INEGI. (2021). *Estadísticas educativas y socioeconómicas*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx>
- INEGI. (2025). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2024–2025*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- SEP. (2024). *Marco Nacional de Cualificaciones y Sistema de Créditos*. Diario Oficial de la Federación.
- Tinto, V. (2012). *Completing college: Rethinking institutional action*. University of Chicago Press.
- UNESCO. (2020). *Educación en América Latina: desafíos y oportunidades*. París: UNESCO.

EL EFECTO DE LA INFLACIÓN SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE LOS CETES DURANTE LOS AÑOS POSTERIORES AL COVID-19 2022, 2023 Y 2024 EN MÉXICO



THE EFFECT OF INFLATION ON CETES YIELDS IN MÉXICO DURING THE POST-COVID-19 YEARS 2022, 2023, AND 2024

Mtro. Jorge Antonio Aguilar Ramírez¹

RESUMEN

La presente investigación detalla un análisis del efecto que tuvo la inflación sobre los rendimientos de los Certificados de la Tesorería de la Federación durante los años posteriores al COVID-19, 2022, 2023 y 2024 en México. Para ello considera la operacionalización de dos variables, el INPC (Índice Nacional de Precios al Consumidor y la tasa de descuento de los CETES. Utiliza datos publicados por el INEGI y el Banco de México del periodo comprendido a partir del mes de enero de 2022 hasta el mes de agosto de 2024, tratando de comprobar si la inflación ha ejercido un efecto directo sobre los rendimientos, provocando el aumento de estos. Los resultados mostraron que la correlación es positiva, esto sugiere incorporar esta variable dependiente a las decisiones financieras de adquisición de Cetes para periodos posteriores a una pandemia o un evento económico similar, sin dejar de considerar otras variables.

ABSTRACT

This study analyzes the effect of inflation on the yields of Federal Treasury Certificates (Cetes) in Mexico during the post-COVID-19 years 2022, 2023, and 2024. The research operationalizes two variables: the National Consumer Price Index (INPC) and the Cetes discount rate. Data published by INEGI and the Bank of Mexico from January 2022 to August 2024 were used to examine whether inflation has a direct effect on Cetes yields, potentially causing them to increase. The results show a positive correlation, suggesting that this dependent variable should be considered in financial decision-making regarding Cetes acquisitions during periods following a pandemic or a similar economic event, while also considering other relevant variables.

Palabras clave: Inflación, Cetes, Tasa de interés, Rendimiento

Key Words: Inflation, Cetes, Interest rate, Yield.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años al ser humano se le ha complicado realizar estudios económicos ya que éstos no pueden ser experimentales, por esa razón ha recurrido a la historia de eventos que, debido a los ciclos, se presentan de manera impredecible y en ocasiones de forma altamente fluctuante.

Este estudio analiza el efecto que ha tenido la inflación sobre los rendimientos de los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES) en México durante los años posteriores al COVID-19: 2022, 2023 y 2024, considerado a nivel global uno de los eventos más significativos de los últimos años.

¹ Mtro. Jorge Antonio Aguilar Ramírez es docente del Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco
jorge.ar@acapulco.tecnm.mx

El 6 de mayo de 2023 la Organización Mundial de la Salud (OMS) acogió la recomendación del Comité de Emergencia de declarar el fin de la emergencia de salud pública internacional conocida como COVID-19. (Se Acaba La Emergencia Por La Pandemia, Pero La COVID-19 Continúa - OPS/OMS | Organización Panamericana de La Salud, n.d.) Si bien, esta es la fecha oficial en la que la emergencia sanitaria culmina, para cada país fue diferente, debido a que se eliminaron los confinamientos estrictos, con una reapertura económica, aunque la OMS aún mantenía la emergencia, es decir, antes de la noticia de este organismo existieron periodos de recuperación en los que las actividades se comenzaron a desarrollar de manera normal. Por esta razón, en el presente estudio se considera un análisis desde el año 2022, en el que las entidades económicas, el gobierno y la sociedad en general volvió a la normalidad.

Una vez delimitado el periodo post pandemia comprendido, resulta pertinente examinar el comportamiento de los principales instrumentos financieros en México. En particular, los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES) constituyen un referente central, al ser el instrumento de deuda bursátil más antiguo emitido por el Gobierno Federal y uno de los más sensibles a las condiciones macroeconómicas, especialmente la inflación, que en gran parte es lo que explica esta investigación.

De acuerdo con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Banco de México, (2012) los CETES se emitieron por primera vez en enero de 1978 y desde entonces constituyen un pilar fundamental en el desarrollo del mercado de dinero en México. Estos títulos pertenecen a la familia de los bonos cupón cero, se comercializan a descuento, es decir, por debajo de su valor nominal y durante el transcurso de su vida no devengan intereses, liquidando su valor nominal en la fecha de vencimiento.

Estos instrumentos constituyen un referente del costo del dinero en el corto plazo, al reflejar de manera directa las decisiones de política monetaria. Su rendimiento mantiene una estrecha relación con las expectativas inflacionarias, dado que las tasas ofrecidas suelen ajustarse conforme varían las proyecciones de inflación. Por ello, resulta fundamental precisar este concepto, ya que constituye una de las variables centrales consideradas en la presente investigación.

Andrade Gutiérrez & Zurita Moreno, (2006) señalan que la inflación es un aumento generalizado y continuo en el nivel general de precios de los bienes y servicios de la economía. En otras palabras, es un fenómeno macroeconómico: afecta a la mayoría de los mercados, no se limita a unos cuantos bienes o servicios, y representa un incremento persistente y en constante cambio.

Este fenómeno impacta directamente sobre el poder adquisitivo de los inversores. Si los rendimientos no superan la tasa de inflación, los inversionistas pierden capacidad de obtener ganancias, por lo que, entender este proceso permite evaluar si estos instrumentos pueden ser una opción viable para proteger el capital o se deben considerar otras alternativas.

La toma de decisiones financieras en este contexto resulta compleja, debido a la imprevisibilidad de los ciclos económicos y el incremento del riesgo de la inversión. Tras eventos disruptivos como pandemias, conflictos bélicos o crisis económicas, la complejidad se intensifica, ya que la incertidumbre de los mercados y la volatilidad de precios afectan el desempeño de los instrumentos financieros, que pueden verse impactados positiva o negativamente según el tipo de activo y el contexto económico.

Según Van Horne & Wachowics, (2010) el rendimiento es el ingreso recibido en una inversión más cualquier cambio en el precio de mercado; generalmente se expresa como porcentaje del precio inicial de mercado de la inversión, mientras que el riesgo es la variabilidad de los rendimientos con respecto a lo que se tenía previsto o esperado que se obtuviera. En el caso de los CETES, sus rendimientos dependen de las tasas de interés fijadas por el Banco de México, la política monetaria y fiscal del gobierno y la inflación. Analizar este efecto proporciona información para realizar una gestión más eficiente del capital.

Por otra parte, el concepto de tasa de interés que complementa al de rendimiento, de acuerdo con

Gitman, (2007) se define como una compensación que paga el prestatario de fondos al prestamista desde el punto de vista del prestatario, es decir, el costo de tomar fondos o capital en préstamo.

Una vez desarrollados estos conceptos se analizó la evolución de la inflación en México, utilizando su principal indicador, el INPC. Se estudiaron los rendimientos de los CETES en el mismo periodo y se evaluó la correlación entre ambas variables mediante análisis estadístico. Al respecto, de acuerdo con (Samuelson & Nordhaus, 2010) un índice de precios es una medida construida por el gobierno que detalla el nivel general que éstos alcanzan, siendo el principal ejemplo es el Índice de Precios al Consumidor que mide la tendencia en el periodo promedio de los bienes y servicios que adquieren los consumidores.

De esta forma, la medición de la inflación es uno de los objetivos más importantes que tiene el gobierno mexicano y se puede realizar a través de dos maneras, midiendo la tasa de inflación o el Índice Nacional de Precios al Consumidor.

Debido a que el estudio se centra únicamente en los años posteriores a la pandemia, podría no reflejar patrones generales, debido a que estos fueron años considerados de una alta volatilidad e incertidumbre, sin embargo, para comprender eventos excepcionales con este, no es posible basarse en escenarios tradicionales. Asimismo, aunque se utilizaron datos oficiales del INEGI y el Banco de México, estos no contemplan factores externos como son los shocks internacionales, finalmente, estos resultados podrían no aplicarse a los instrumentos de deuda gubernamental de otros países.

Es importante que el lector tome en cuenta todas estas variables para seleccionar sus instrumentos de inversión.

METODOLOGÍA

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, cuyo propósito es determinar el efecto de la inflación sobre los rendimientos de los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES) en el periodo 2022-2024. Su alcance es correlacional, pues busca identificar si existe una relación entre la variable independiente (medida por el INPC) y la variable dependiente (medida por los rendimientos de los CETES), además de precisar la dirección de dicha relación e identificar posibles indicios de causalidad.

El diseño de investigación es no experimental, dado que no se manipulan las variables, sino que se observan en su contexto natural. El periodo de análisis no fue seleccionado al azar, sino de manera intencional para evaluar el comportamiento de ambas variables en un escenario posterior a la pandemia de COVID-19. Asimismo, se clasifica como longitudinal de tendencia, ya que examina cambios de las variables a lo largo del tiempo en distintos momentos consecutivos.

La población y muestra comprenden todos los datos disponibles del INPC y los rendimientos de los CETES a un plazo de 28 días, elegido por ser el valor de referencia más utilizado en el mercado para los instrumentos de deuda gubernamental. La concentración en un solo plazo no resta validez al análisis, sino permite una comparación homogénea y facilita la interpretación de la relación entre inflación y rendimiento, considerando que este último se publica de manera semanal. La selección es no probabilística, pero la cobertura total de los datos asegura precisión y validez en los resultados.

Los datos fueron obtenidos de la siguiente manera:

Para consultar los Índices Nacionales de Precios al Consumidor, se accedió a la base de datos del Sistema de Información Económica (SIE), disponible en el portal del Banco de México. En esta plataforma se filtraron los registros correspondientes al periodo comprendido entre el mes de enero de 2022 y agosto de 2024. Conviene señalar que, de acuerdo con la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de abril de 2008, a partir del 15 de julio de 2011 el INEGI tiene la facultad exclusiva de elaborar y publicar los índices nacionales de precios. No obstante, debido a la mayor practicidad operativa del SIE, se optó por exportar los datos desde esta plataforma, considerando que son equivalentes a los que publica el INEGI. (Cámara de Diputados, 2015)

El procedimiento de descarga consistió en ingresar al portal del SIE y utilizar la opción exportar cuadro, tras definir el periodo de consulta (fecha inicial y final) correspondiente a los principales índices mensuales (véase la figura 1).

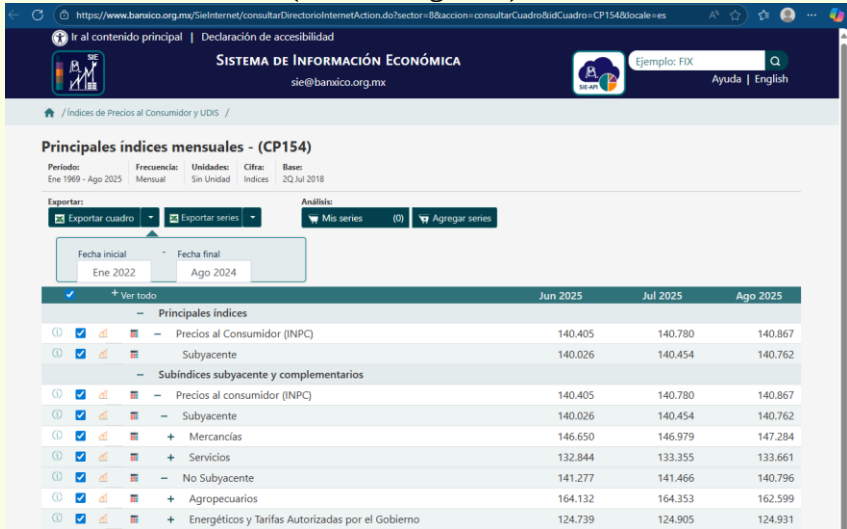


Figura 1 Exportación de datos de los principales índices mensuales desde el Sistema de Información Económica del Banco de México.

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México, 2025

La recolección de los datos se realizó en formato .XLS, mediante la opción exportar cuadro, dado que este formato facilita su manipulación en hojas de cálculo y su integración con paquetes estadísticos.

En el caso de los rendimientos de los CETES, la información también se obtuvo a través del SIE, sin embargo, esta base de datos presenta mayor complejidad en su descarga, ya que únicamente permite filtrar periodos de hasta seis meses. Por esta razón, los datos se extrajeron de manera semestral. Además, como se mencionó anteriormente, las subastas y colocación de los CETES se realiza de forma semanal por lo que el rendimiento se actualiza continuamente en función de las condiciones del mercado y de la política monetaria. Para garantizar la compatibilidad con el INPC – que se publica mensualmente- se optó por calcular un promedio mensual de los rendimientos a 28 días, el plazo de referencia más utilizado. Esta estrategia permitió generar una base de datos más homogénea y consistente, asegurando la confiabilidad y validez necesarias para cumplir con los objetivos de la investigación.

Véase la tabla 1 que contiene los datos estructurados utilizados como insumo en el análisis estadístico realizado con SPSS.

Tabla 1. INPC y rendimientos promedio de CETES a 28 días de enero 2022 a agosto 2024

Mes	INPC	Rendimiento promedio – CETES a 28 días
ene-22	118.00	5.53
feb-22	118.98	5.87
mar-22	120.16	6.31
abr-22	120.81	6.56
may-22	121.02	6.91
jun-22	122.04	7.31
jul-22	122.95	7.76
ago-22	123.80	8.25
sep-22	124.57	8.70
oct-22	125.28	8.93
nov-22	126.00	9.42
dic-22	126.48	9.96
ene-23	127.34	10.61
feb-23	128.05	10.92
mar-23	128.39	11.23
abr-23	128.36	11.29
may-23	128.08	11.32
jun-23	128.21	11.16
jul-23	128.83	11.22
ago-23	129.55	11.16
sep-23	130.12	11.08

oct-23	130.61	11.08
nov-23	131.45	10.89
dic-23	132.37	11.21
ene-24	133.56	11.29
feb-24	133.68	11.05
mar-24	134.07	11.02
abr-24	134.34	10.97
may-24	134.09	10.99
jun-24	134.59	10.97
jul-24	136.00	10.92
ago-24	136.01	10.76

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI disponibles en el portal SIE del Banco de México.

Una vez recopilados los datos de las dos variables se buscó identificar si existe una relación y el grado de asociación entre ambas, esto justifica que se trate de un estudio correlacional. En este caso, la muestra corresponde a la totalidad de los datos disponibles del periodo analizado, lo que permite trabajar con toda la población y no únicamente una selección parcial.

La hipótesis de investigación planteó que la correlación sería positiva, es decir, que un incremento en la inflación se acompaña de un incremento en los rendimientos de los CETES. En caso de no encontrarse correlación, ello indicaría que las variables fluctúan sin seguir un patrón sistemático.

Adicionalmente, el estudio adquiere un carácter explicativo, pues no solo se limita a identificar la existencia de una correlación, sino que también busca indagar en la causalidad del fenómeno, verificando si la inflación constituye un factor determinante en la variación de los rendimientos de los CETES. Aunque se deja en claro que es más correlacional que explicativo.

RESULTADOS

Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics 26. En primera instancia, se evaluó si las variables se ajustaban a una distribución normal (o distribución gaussiana), dado que algunas pruebas estadísticas requieren este supuesto, mientras que otras son más apropiadas para distribuciones no normales.

Se aplicaron las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, obteniéndose los siguientes resultados (véase la tabla 2):

Tabla 2. Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Rendimiento Promedio - Cetes 28 días	.296	32	.000	.764	32	.000
INPC	.104	32	.200*	.957	32	.231

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia con base en datos analizados en SPSS.

Los resultados muestran que la variable INPC se ajusta a una distribución normal, dado que el valor de significancia obtenido fue superior a 0.05. En consecuencia, es posible aplicar pruebas paramétricas a esta variable.

Por el contrario, la variable rendimiento promedio de los CETES a 28 días presentó un valor de significancia de 0.000, inferior a 0.05, lo que indica que no sigue una distribución normal. En tales casos, resulta más adecuado emplear métodos estadísticos no paramétricos.

Dado que la variable INPC presentó una distribución normal y la variable rendimiento promedio de los CETES a 28 días no, no resulta apropiado aplicar una prueba paramétrica para comparar ambas y obtener resultados confiables. Por esta razón, se recurrió a la prueba de correlación de Spearman, la cual es adecuada para analizar la relación entre variables que no siguen una distribución normal.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante la prueba de correlación de Spearman (véase la tabla 3):

Tabla 3 - Prueba de correlación

Correlaciones			INPC	Rendimiento Promedio - Cetes 28 días
Rho de Spearman	INPC	Coefficiente de correlación	1.000	.668**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	32	32
	Rendimiento Promedio - Cetes 28 días	Coefficiente de correlación	.668**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	32	32

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia con base en datos analizados en SPSS.

Para interpretar estos resultados, se retoma la propuesta de Hernández Sampieri, (2014) respecto a la prueba de correlación de Spearman, donde los valores del coeficiente pueden variar entre -1.00 y $+1.00$: un valor de -1.00 indica una correlación negativa perfecta, en la que, a medida que la variable X aumenta, la variable Y disminuye de forma proporcional; mientras que un valor de $+1.00$ representa una correlación positiva perfecta, es decir, conforme X incrementa, Y también lo hace en la misma proporción.

En el estudio el coeficiente de correlación de Spearman fue de 0.668 con una significancia a nivel de 0.01 bilateral, es decir, que se presenta en ambos sentidos de las variables INPC y el rendimiento de los CETES. Estos hallazgos sugieren que un aumento en el INPC está asociado con un incremento en los rendimientos de los CETES a 28 días con una correlación positiva media por ser mayor a $+0.50$.

En la práctica es muy difícil que exista una correlación positiva perfecta, sin embargo, es posible haber obtenido una correlación positiva más fuerte en la escala, por lo que esto llegaría a significar que además del INPC, después de la pandemia existieron otras variables que también afectaron a los rendimientos de los CETES.

Respecto al nivel de significancia, el que aparezca una cantidad de .000 se asocia con un resultado de 0.001 por lo que al ser menor que 0.01 confirma que es estadísticamente significativa, por lo que se puede rechazar la hipótesis nula H_0 , aceptar la hipótesis de investigación H_i y concluir que la relación observada no es producto del azar.

Una vez aplicada la prueba de Spearman, se aplicó el análisis de Regresión lineal simple con el propósito de cuantificar dicha relación y evaluar la capacidad explicativa del INPC sobre la variación en los rendimientos, permitiendo un análisis más robusto y predictivo.

La tabla 4, 5 y 6 son explicativas de este análisis.

Tabla 4 – Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R Cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.878 ^a	.771	.763	0.92504

a. Predictores: (Constante), INPC

Fuente: Elaboración propia con base en datos analizados en SPSS.

Tabla 5 – Anova^a

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	86.208	1	86.208	100.745	.000 ^b
	Residuo	25.671	30	.856		
	Total	111.879	31			

a. Variable dependiente: Rendimiento promedio – Cetes 28 días

b. Predictores: (Constante), INPC

Fuente: Elaboración propia con base en datos analizados en SPSS.

Tabla 6 – Coeficientes^a

		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes no estandarizados		
Modelo		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	-31.200	4.085		-7.638	.000
	INPC	.320	0.32	.878	10.037	.000

a. Variable dependiente: Rendimiento promedio – Cetes 28 días

Fuente: Elaboración propia con base en datos analizados en SPSS.

El coeficiente de correlación múltiple $R = 0.878$ indica una alta relación positiva entre la inflación y el rendimiento promedio mensual de los CETES a 28 días.

El $R^2 = 0.771$ muestra que 77.1% de la variabilidad en los rendimientos de los CETES puede explicarse por medio del comportamiento del INPC. Esto es un resultado considerable, que apoya en gran medida la hipótesis de la investigación.

El R^2 ajustado demuestra un resultado de 0.763, confirmando que el modelo se mantiene robusto aun considerando el tamaño de la muestra.

Por otra parte, el error estándar de la estimación que es de 0.925 refleja una dispersión relativamente baja de los valores observados respecto de los valores predichos.

CONCLUSIONES

La presente investigación analizó la correlación entre la inflación, medida a través del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), y los rendimientos mensuales promedio de los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES) a 28 días durante el periodo 2022–2024, con el fin de obtener resultados consistentes y comparables que demostraran que a una mayor inflación existe un rendimiento mayor.

Los resultados de la prueba de correlación de Spearman evidenciaron una relación positiva, de magnitud media y estadísticamente significativa, entre ambas variables, con un coeficiente de 0.668. Esto sugiere que, en términos generales, los rendimientos de los CETES tienden a acompañar los movimientos de la inflación, lo que resulta congruente con su carácter de instrumentos de deuda gubernamental de bajo riesgo sensibles al contexto económico.

Los resultados de la prueba de regresión lineal múltiple mostraron que el coeficiente de correlación múltiple $R = 0.878$ indica una alta relación positiva entre la inflación y el rendimiento promedio mensual de los CETES a 28 días, sin embargo, la correlación identificada no es perfecta, lo que implica que otros factores también inciden en el comportamiento de los rendimientos. Entre ellos se deben considerar las decisiones de política monetaria, la oferta y demanda de instrumentos de deuda, así como las expectativas del mercado financiero por mencionar algunos.

En este sentido, el estudio aporta evidencia empírica sobre la manera en que las fluctuaciones macroeconómicas impactan los instrumentos financieros gubernamentales, lo que resulta relevante tanto para inversionistas que buscan estrategias de inversión más informadas, como

para responsables de políticas públicas que requieren herramientas de análisis para diseñar medidas eficaces en escenarios económicos inciertos.

Finalmente, se recomienda al lector ampliar investigaciones futuras incorporando más variables económicas en el mismo periodo o extendiendo el periodo de análisis, con el propósito de fortalecer la comprensión del vínculo entre inflación y los rendimientos financieros en un escenario de fluctuación económica en México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Gutiérrez, O., & Zurita Moreno, A. (2006). Sobre la inflación. 9(3), 81–115. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=425942413004>
- Gitman, L. J. (2007). Principios de administración financiera (11a ed.). Pearson Educación.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2010). Macroeconomía con aplicaciones a Latinoamérica (19a ed.). McGraw Hill Educación.
- Se acaba la emergencia por la pandemia, pero la COVID-19 continúa - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. (n.d.). Retrieved September 24, 2025, from <https://www.paho.org/es/noticias/6-5-2023-se-acaba-emergencia-por-pandemia-pero-covid-19-continua>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Banco de México. (2012). Descripción técnica de los Certificados de la Tesorería de la Federación. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.banxico.org.mx/mercados/d/%7B0DE0044F-662D-09D2-C8B3-4F1A8E43655F%7D.pdf
- Van Horne, J. C., & Wachowics, J. M. (2010). Fundamentos de administración financiera (13a ed.). Pearson Educación.

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MACHINE LEARNING PARA OBSERVABILIDAD Y TRAZABILIDAD EN SISTEMAS DISTRIBUIDOS

PROPOSAL FOR INTEGRATING MACHINE LEARNING INTO OBSERVABILITY AND TRACEABILITY IN DISTRIBUTED SYSTEMS



M.C. Araceli Velázquez Gutiérrez ¹

Dra. Sindya Yadira Castillo Ortiz ²

M.C. Alicia Cortés Fernández ³

RESUMEN

Esta investigación analiza OpenTelemetry como estándar emergente para la observabilidad en sistemas distribuidos, destacando su integración con ML–Machine Learning. Mediante revisión documental, se identifican desafíos en la recolección y procesamiento de datos de telemetría, así como las limitaciones de herramientas tradicionales en entornos dinámicos. Se examinan estudios que evidencian cómo la calidad de los datos influye en la capacidad diagnóstica y predictiva de los sistemas. Además, se analizan propuestas que incorporan modelos ML para anticipar cuellos de botella y optimizar el rendimiento. Aunque OpenTelemetry ofrece una base sólida para la instrumentación estandarizada, su aprovechamiento pleno requiere configuraciones adaptativas, técnicas de muestreo estratégicas e integración estrecha con modelos predictivos. Como aporte, se proponen líneas futuras de investigación orientadas al diseño de arquitecturas observables inteligentes, capaces de responder en tiempo real a las condiciones cambiantes del entorno distribuido.

ABSTRACT

This research analyzes OpenTelemetry as an emerging standard for observability in distributed systems, emphasizing its integration with Machine Learning (ML). Through a documentary review, it identifies challenges in the collection and processing of telemetry data, as well as the limitations of traditional tools in dynamic environments. The study examines evidence showing how data quality directly affects the diagnostic and predictive capabilities of systems. It also explores proposals that incorporate ML models to anticipate bottlenecks and optimize performance. While OpenTelemetry provides a solid foundation for standardized instrumentation, its full potential requires adaptive configurations, strategic sampling techniques, and close integration with predictive models. As a contribution, the study proposes future research lines focused on designing intelligent observable architectures capable of responding in real time to the changing conditions of distributed environments.

Palabras reservadas: sistemas distribuidos, trazabilidad, observabilidad, OpenTelemetry, aprendizaje automático

Keywords: distributed systems, traceability, observability, OpenTelemetry, machine learning.

INTRODUCCIÓN

Según Young y Parker (2024), un sistema distribuido integra componentes físicos y lógicos, como servidores, aplicaciones, APIs y bases de datos, que operan coordinadamente a través de redes mediante el intercambio de mensajes. Aunque suelen asociarse con arquitecturas en la nube y microservicios, también incluyen sistemas monolíticos, cliente-servidor y

¹ M.C. Araceli Velázquez Gutiérrez es docente adscrita al Depto. Académico de Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México / IT de Lázaro Cárdenas. araceli.velazquez@lcardenas.tecnm.mx

² Dra. Sindya Yadira Castillo Ortiz es docente adscrita al Depto. Académico de Sistemas y Computación Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Iguala. sindya.castillo@iguala.tecnm.mx

³ M.C. Alicia Cortés Fernández es docente adscrita al Depto. Académico de Sistemas y Computación. Tecnológico Nacional de México / IT Apizaco. alicia.cf@apizaco.tecnm.mx

plataformas móviles o web. Por su estructura, presentan desafíos como fallos parciales, asincronía y ausencia de estado global consistente. En este contexto, la observabilidad, según Mahida (2023), resulta clave para comprender el comportamiento interno del sistema mediante trazas, métricas y logs, facilitando la detección de errores, la identificación de cuellos de botella y la planificación de capacidad.

Para que un sistema distribuido sea observable, se requieren mecanismos que capturen sistemáticamente información relevante sobre su funcionamiento. La telemetría, según Young y Parker (2024), proporciona datos sobre el estado interno y las operaciones del sistema, transformándolo de una “caja negra” en un entorno comprensible. Estos datos incluyen interacciones de usuario e indicadores técnicos, y permiten anticipar fallos y entender el flujo transaccional.

Aunque la observabilidad puede aumentar los requerimientos de almacenamiento y procesamiento, una instrumentación bien diseñada mejora la productividad, confiabilidad y mantenibilidad (Mahida, 2023). Esto es especialmente relevante en aplicaciones orientadas al cliente, donde la disponibilidad y el rendimiento son críticos para la competitividad (Niedermaier et al., 2019).

Desde finales del siglo XX, la observabilidad ha sido reconocida como componente esencial en el diseño de pruebas para sistemas distribuidos abiertos (Cavalli et al., 1999). Actualmente, se entiende como la capacidad de inferir el estado interno del sistema a partir de los datos que genera, sin replicar fallos. Se apoya en tres fuentes: trazas, métricas y registros, que permiten analizar el flujo de solicitudes, el rendimiento y los eventos del sistema.

Una de las tecnologías más consolidadas es OpenTelemetry, respaldada por la CNCF, que unifica APIs, SDKs y herramientas para recolectar datos estructurados. Surgida de OpenTracing y OpenCensus, ha sido adoptada por plataformas como Prometheus, Grafana y Jaeger, convirtiéndose en estándar en entornos cloud-native (Karkan, 2024). OTel evita el vendor lock-in e integra múltiples fuentes, aunque aún no incorpora análisis avanzado. Metodología

Problema de investigación

Aunque OpenTelemetry (OTel) sirve para recolectar y visualización en tiempo real de trazas, métricas y logs, y permite identificar dependencias entre servicios y cuellos de botella en sistemas distribuidos al integrarse con otras herramientas, no realiza por sí mismo análisis predictivo ni de causa raíz mediante inteligencia artificial. Estas capacidades se logran al integrarlo con plataformas de observabilidad más avanzadas que aplican modelos de IA, las cuales utilizan los datos recolectados por OpenTelemetry para generar diagnósticos automáticos, detectar anomalías y anticipar fallos en el sistema.

Este estudio se desarrollará bajo un enfoque de investigación cualitativa, de tipo documental y prospectiva con un enfoque exploratorio-analítico ya que se busca comprender el estado actual y proyectar escenarios de evolución tecnológica.

Las técnicas y métodos que se usarán son: Revisión sistemática de literatura científica, artículos técnicos, e informes de asociaciones. Después se realizará un análisis comparativo entre tecnologías de observabilidad actuales. Se hará un estudio de casos documentados de adopción de observabilidad y/o integración con IA. Análisis de tendencias y propuestas emergentes sobre observabilidad. Se hará una identificación de vacíos y oportunidades para la evolución de estándares.

A partir de esta investigación se obtendrá un estado del arte actualizado sobre tecnologías de observabilidad en sistemas distribuidos. Un análisis de factibilidad y proyección futura de integrar IA en OpenTelemetry. Las preguntas científicas que guiarán esta investigación serán las siguientes: ¿Qué desafíos han enfrentado las tecnologías más adoptadas en sistemas distribuidos, particularmente en áreas como observabilidad, trazabilidad y gestión del tráfico?, ¿Cómo pueden evolucionar herramientas como OpenTelemetry hacia la integración de capacidades de inteligencia artificial que permitan anticipar fallos, optimizar recursos y mejorar la resiliencia del sistema?

Objetivo: Analizar la evolución reciente de los estándares y tecnologías en sistemas distribuidos, con énfasis en las herramientas de observabilidad como OpenTelemetry, y explorar la factibilidad de integrar algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la predicción y el análisis de causa raíz.

Justificación: Este estudio es pertinente debido a la creciente necesidad de dotar a los sistemas distribuidos de capacidades proactivas para enfrentar problemas de rendimiento y disponibilidad. La observabilidad, si bien ha avanzado con herramientas como OpenTelemetry, aún depende del análisis manual y carece de mecanismos inteligentes integrados de forma nativa. Explorar el potencial de incorporar inteligencia artificial en este contexto es relevante para mejorar la resiliencia de los sistemas modernos, y representa una contribución al diseño de arquitecturas más eficientes, seguras y autónomas.

Alcances y limitaciones

Se obtendrá un análisis conceptual y documental de tecnologías y estándares, además de una exploración de tendencias emergentes y proyección a futuro, mientras que se realiza una delimitación en herramientas de observabilidad, con enfoque en OpenTelemetry.

Las limitaciones de esta investigación es que no se desarrollará un prototipo experimental y la investigación se basará en análisis de la literatura y documentación técnica.

Desafíos en la observabilidad con OpenTelemetry

Thakur y Chandak (2022) realizaron una revisión sistemática sobre OpenTelemetry, en la que resaltan su papel como marco unificado de observabilidad para sistemas distribuidos. En su análisis, identifican ventajas frente a herramientas anteriores, así como limitaciones actuales, particularmente en lo relativo a la visibilidad de capa de red.

Gomes et al. (2024) analizaron distintas configuraciones de OpenTelemetry en entornos de microservicios, destacando la relación entre la granularidad de los datos recolectados y la

eficiencia operativa del sistema. Su estudio proporciona evidencia empírica sobre cómo las decisiones de configuración afectan la cantidad y calidad de los datos disponibles para análisis posteriores. Al ofrecer scripts reproducibles, configuraciones detalladas del OTel Collector y un conjunto de datos público, su trabajo representa un insumo útil para investigaciones orientadas a integrar algoritmos de aprendizaje automático que optimicen la observabilidad y predicción de comportamientos en sistemas distribuidos.

Reichelt, Kühne y Hasselbring (2021) realizaron una comparación empírica entre OpenTelemetry y otros marcos de monitoreo como Kieker e inspectIT, concluyendo que OpenTelemetry introduce una mayor sobrecarga en ciertas configuraciones. Los autores sugieren que los métodos de evaluación deben mejorarse para representar de manera más realista los escenarios del entorno operativo.

En una evaluación práctica aplicada a una aplicación web, Hemens (2024) analizó la madurez de OpenTelemetry en la recolección de trazas y métricas, destacando su eficacia en estos aspectos. Sin embargo, identificó limitaciones importantes en la integración de logs, particularmente en entornos productivos con exigencias de tiempo real.

El muestreo en OpenTelemetry, aunque necesario para reducir la sobrecarga en sistemas distribuidos, puede limitar la aplicación de modelos de aprendizaje automático para análisis predictivo. Capturar solo una muestra de trazas, como señalan Boten & Majors (2022), implica riesgo de omitir eventos críticos, introducir sesgos y perder relaciones causales, lo que afecta la precisión diagnóstica.

Karkan (2024) comparó el muestreo head-based y tail-based en OpenTelemetry, mostrando que el segundo aumenta el uso de CPU (71.33 %) y memoria (23.7 %), pero permite detectar todos los errores del sistema distribuido. Este hallazgo destaca la necesidad de equilibrar rendimiento y capacidad diagnóstica según los requisitos, especialmente al integrar algoritmos de aprendizaje automático para identificar fallos.

Complementando estas observaciones, Smirnov (2025) propuso la integración de OpenTelemetry con el stack ELK como una estrategia eficaz para fortalecer la trazabilidad, mejorar el monitoreo en tiempo real y facilitar la detección de anomalías en sistemas distribuidos basados en microservicios.

Por su parte, Koniaris, Sinclair y Mitchell (2024) desarrollaron DanceMark, una extensión de OpenTelemetry orientada a sistemas en red sensibles a la latencia, aplicados en experiencias inmersivas de realidad virtual. Este marco introduce mecanismos de predicción en tiempo real basados en datos telemétricos para reducir la latencia perceptible en contextos sincronizados, extendiendo las capacidades de OpenTelemetry hacia dominios donde el tiempo real es crítico.

OpenTelemetry (OTel) no implementa directamente algoritmos de procesamiento avanzado o machine learning, ya que su objetivo principal es la recolección, procesamiento básico y exportación estandarizada de datos de observabilidad (trazas, métricas, logs). Sin embargo, algunas propuestas analizadas, como la de Koniaris et al (2024) ejemplifican cómo la

integración de técnicas de predicción, derivadas del análisis de telemetría especializada, permite extender las capacidades diagnósticas y de adaptación del sistema.

OpenTelemetry (OTel), por su arquitectura extensible, permite incorporar processors personalizados y herramientas externas (Gomes et al., 2024; Koniaris et al., 2024) para enriquecer el análisis telemétrico.

Este trabajo plantea que integrar machine learning en tiempo real puede mejorar la detección de anomalías y la eficiencia operativa en sistemas distribuidos. Se proponen estrategias como muestreo inteligente, captura temporal completa, combinación de señales y algoritmos robustos ante datos incompletos, buscando equilibrar rendimiento y calidad diagnóstica para análisis predictivos más precisos.

Análisis de algoritmos de ML relevantes para OTel

En el contexto de sistemas distribuidos modernos, como las arquitecturas sobre microservicios, se deben recolectar trazas, logs y métricas, pero sobre todo es necesario interpretar los datos recolectados para anticipar fallos, comprender causas raíz y escalar recursos eficientemente. Aquí es donde los algoritmos de aprendizaje automático (machine learning) juegan un papel estratégico ya que permiten automatizar tareas como la detección de anomalías, el análisis de causa raíz, el escalamiento predictivo y la clasificación de logs. A continuación, se describen brevemente los enfoques algorítmicos

Detección de anomalías

De acuerdo con Torabi, H., Mirtaheri, S. L., & Greco, S. (2023), las anomalías se refieren a patrones de tráfico o comportamientos que se desvían significativamente de lo considerado normal, lo que puede indicar actividades maliciosas como intrusiones, ataques cibernéticos o fallos en el sistema. Estos comportamientos anómalos son difíciles de detectar con métodos tradicionales debido a la complejidad y dinámica de las redes en la nube. Para la detección de anomalías se proponen los siguientes algoritmos de IA.

Isolation Forest (iForest). Es un método de aprendizaje no supervisado diseñado para detectar anomalías mediante la aislación de instancias en árboles binarios Lesouple et al. 2021. En lugar de modelar el comportamiento normal, iForest aísla puntos de datos al dividir el espacio de características aleatoriamente. Las anomalías, por ser escasas y diferentes, tienden a ser aisladas con menos divisiones, lo que se traduce en trayectorias más cortas en los árboles.

Debido a que OpenTelemetry genera grandes volúmenes de trazas distribuidas en este trabajo se considera que iForest podría ser viable para detectar latencias inusuales porque no requiere etiquetas, de esta forma es útil en entornos observables donde no siempre se conoce qué es “normal”. Puede procesar grandes volúmenes de trazas con eficiencia y podría identificar trazas con combinaciones atípicas de duración, errores, o rutas de servicio. Por ejemplo, una traza con latencia elevada, pero sin errores puede ser detectada como anómala si su estructura difiere del patrón común (Lesouple et al. 2021).

Algoritmo Autoencoder. Es una red neuronal que aprende a reconstruir sus entradas mediante una estructura de codificación y decodificación. En (Torabi et al, 2023) se usaron para comprimir los datos en una representación latente y luego reconstruirlos lo más fielmente posible. Si una entrada no puede ser reconstruida correctamente, se considera anómala. En el contexto de trazas distribuidas, los autoencoders son eficientes porque aprenden patrones normales de latencia, duración y estructura de trazas.

Algoritmo K-Means. Método de aprendizaje no supervisado que agrupa datos en K clústeres según su similitud. Funciona iterativamente asignando cada punto al centroide más cercano y recalculando los centroides hasta que se estabilizan. Es un algoritmo muy fácil de implementar e interpretar de acuerdo con (Bishop, 2006). Su objetivo en el contexto de trazas distribuidas en OTel sería el de minimizar la variación intra-clúster y maximizar la separación entre clústeres. Este es un algoritmo muy eficiente, $O(n)$ por iteración, que funciona bien con grandes volúmenes de datos (Jain, 2010) y puede ser aplicable a múltiples dominios (Wu et al., 2008).

Algoritmos para análisis de causa raíz

Algoritmo Random Forest. Se trata de un método de aprendizaje supervisado que construye múltiples árboles de decisión sobre subconjuntos aleatorios del conjunto de datos. Su fortaleza radica en la agregación de predicciones, lo que mejora la precisión y reduce el sobreajuste. Además, como señala Thomas, N. S., & Kaliraj, S. (2024), permite calcular la importancia de variables, lo que lo hace útil para análisis explicativos. En entornos distribuidos como los que monitorea OTel, Random Forest sería viable para correlacionar errores entre microservicios porque maneja datos multivariados y puede procesar métricas como duración de spans, códigos de error, rutas de servicio, entre otros.

Algoritmo GNNs (Grafos de Servicios). Los Graph Neural Networks (GNNs), son algoritmos de aprendizaje automático diseñados para procesar datos en forma de grafos, donde los nodos podrían representar microservicios y las aristas sus relaciones como las dependencias API. Estos algoritmos generan embeddings que permiten analizar patrones complejos en sistemas distribuidos (Zhou et al., 2020). Los GNNs son relevantes porque permitirán modelar dependencias entre servicios. Capturan relaciones dinámicas en arquitecturas de microservicios, donde un fallo en un nodo puede propagarse (Wu et al., 2021). Se han usado para correlacionar errores mediante el análisis de métricas, trazas y logs (Sigelman et al., 2010). También se sabe que son capaces de detectar anomalías de comportamientos normales y alertar sobre desviaciones (Zhou et al., 2020).

Algoritmos para escalado predictivo

Algoritmo ARIMA. El modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) es un algoritmo estadístico para análisis y predicción de series temporales, ampliamente utilizado en machine learning para forecasting, aunque con la desventaja de que requiere que la serie sea estacionaria (Box & Jenkins, 1970). Sin embargo, podría evaluarse su uso en observabilidad ya que podría predecir carga de trabajo, anticipar picos de tráfico. Podría también detectar anomalías al identificar desviaciones en patrones temporales (Wu et al.,

2021). En sistemas como Kubernetes, ARIMA ajusta el número de réplicas basándose en tendencias históricas (Chen et al., 2022), por lo que en el contexto de OTEL podría optimizar el escalado automático.

Además, a diferencia de modelos complejos, ARIMA funciona bien con series temporales cortas, lo que lo vuelve conveniente para entornos con limitaciones de datos (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Algoritmo Prophet. El algoritmo desarrollado por Facebook (Meta), es un modelo de forecasting de series temporales diseñado para predecir patrones con componentes estacionales, tendencias no lineales y eventos conocidos (Taylor & Letham, 2018). Combina un modelo aditivo que descompone la serie temporal en tendencia y ajusta tendencias mediante curvas logísticas o lineales. Además, maneja datos faltantes, outliers y cambios abruptos en la tendencia. Se considera que Prophet es relevante en el contexto de OTEL, debido a que puede ser capaz de predecir carga de recursos, anticipar picos de CPU, memoria o tráfico en microservicios usando métricas históricas de Prometheus o trazas de Jaeger (Google Cloud, 2024). **Detección de anomalías.** Identifica desviaciones en métricas mediante residuos del modelo (AWS, 2021).

Para correlación de errores en microservicios, se propone este algoritmo porque es capaz de modelar dependencias temporales, (Artefact, 2023) y esto es útil para diagnosticar fallos en cascada. Es capaz de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real con bajo costo computacional (Taylor & Letham, 2018). Y finalmente, porque beneficia la interpretabilidad al proporcionar intervalos de confianza y componentes desagregados como tendencia y estacionalidad (DATLAS, 2024).

Algoritmo LSTM. Las Redes Neuronales de Memoria a Corto-Largo Plazo (LSTM) son un tipo de red neuronal recurrente (RNN) diseñada para modelar dependencias temporales en secuencias de datos, evitando el problema de desvanecimiento del gradiente en RNNs tradicionales (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). Estas redes contienen celdas de memoria para almacenar información relevante a largo plazo, puertas (input, forget, output) que regulan el flujo de información para aprender qué datos retener o descartar (Gers et al., 2000), (Google Cloud, 2023). Las LSTMs son relevantes para predicción de métricas ya que anticipan valores futuros de latencia, uso de CPU o errores HTTP basándose en trazas históricas de Jaeger o Prometheus (Chen et al., 2022). También pueden detectar anomalías e identificar desviaciones en patrones temporales mediante análisis de residuos (Wu et al., 2021).

Se han implementado en sistemas distribuidos (e.g., Kubernetes) para procesar flujos de datos masivos (Fathalla et al., 2022), y en (Golovkina et al., 2023) se reporta una correlación de trazas distribuidas para rastrear errores mediante LSTM.

Algoritmo para la Clasificación de logs

Algoritmo NLP (BERT, TF-IDF). BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), es un modelo de procesamiento de lenguaje natural (NLP) basado en

arquitecturas Transformer (Devlin et al., 2019). BERT procesa texto de forma bidireccional, capturando el contexto completo de una palabra (Devlin et al., 2019), se usa para clasificar errores en logs de microservicios (Amazon Web Services, 2021), analiza dependencias semánticas entre trazas (Devlin et al., 2019) logrando una comprensión contextual y de ambigüedades (Devlin et al., 2019). Además, permite el fine-tuning de tareas específicas añadiendo capas adicionales (IBM, 2024).

TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency)

Es una métrica estadística que evalúa la relevancia de un término en un documento (Kupakia, 2023), prioriza términos únicos en alertas (Kupakia, 2023), e identifica términos críticos en métricas históricas (MDPI, 2023). Estos algoritmos permitirían mantener la escalabilidad ya que BERT procesa grandes volúmenes de logs (IBM, 2024) y TF-IDF es computacionalmente eficiente (Kupakia, 2023).

RESULTADOS

La Tabla 1 Algoritmos de ML recomendados para OTel, presenta una síntesis de casos de uso dentro del ecosistema de observabilidad utilizando *OpenTelemetry (OTel)*, y los algoritmos más adecuados encontrados para cada uno.

Tabla 1 Algoritmos de ML recomendados para OTel

Caso de Uso	Algoritmos	Ejemplo en OTel
Detección de anomalías	Isolation Forest, Autoencoders, K-Means	Identificar trazas con latencia inusual.
Root Cause Analysis	Random Forest, GNNs (Grafos de Servicios)	Correlacionar errores en microservicios.
Predictive Scaling	ARIMA, Prophet, LSTM	Predecir carga basada en métricas históricas.
Clasificación de logs	NLP (BERT, TF-IDF)	Etiquetar logs como "error", "debug", etc.

CONCLUSIONES

La observabilidad en sistemas distribuidos no solo facilita el diagnóstico oportuno de incidencias, sino que también desempeña un papel clave en la optimización del rendimiento y el mantenimiento proactivo, especialmente en entornos heterogéneos y sensibles a la latencia. OpenTelemetry, como estándar predominante en la instrumentación de telemetría, ha demostrado su versatilidad al integrarse con proveedores cloud y herramientas de monitoreo.

En el ámbito de los sistemas distribuidos modernos, particularmente en arquitecturas basadas en microservicios, la capacidad de recolectar e interpretar de manera inteligente trazas, logs y métricas se ha vuelto un requisito fundamental para anticipar fallos, diagnosticar causas raíz y optimizar la asignación de recursos. En este contexto, los algoritmos de machine learning emergen como un componente estratégico, permitiendo transformar datos telemétricos en insights accionables.

Además, iniciativas como DanceMark para sistemas inmersivos o integraciones con el stack ELK evidencian la capacidad de OpenTelemetry para adaptarse a dominios especializados donde la predictibilidad y la respuesta en tiempo real son críticas. La incorporación de técnicas de aprendizaje automático en la cadena de observabilidad representa un avance significativo hacia sistemas autónomos capaces de predecir cuellos de botella, detectar anomalías y optimizar recursos basándose en patrones históricos y condiciones operativas en tiempo real.

RECOMENDACIONES

Algunos de los desafíos a considerar respecto a la calidad y estructura de los datos consiste en la búsqueda de estrategias para normalizar los datos heterogéneos generados en OTel para ML. Se propone el uso de modelos específicos por tipo de señal, por ejemplo, redes neuronales para trazas, y series temporales para métricas.

Como línea de investigación futura, se propone explorar arquitecturas híbridas que combinen instrumentación estandarizada con motores de inferencia embebidos o conectados mediante pipelines altamente eficientes. Este enfoque podría potenciar la escalabilidad y la capacidad predictiva de los sistemas distribuidos, consolidando así un paradigma de observabilidad inteligente y autónoma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amazon Web Services. (2021). Algoritmo Prophet en Amazon Forecast. https://docs.aws.amazon.com/es_es/forecast/latest/dg/aws-forecast-recipe-prophet.html
- Bishop, C. M. (2006). Pattern recognition and machine learning. Springer.
- Boten, A., & Majors, C. (2022). Cloud-Native Observability with OpenTelemetry: Learn to gain visibility into systems by combining tracing, metrics, and logging with OpenTelemetry. Packt Publishing Ltd.
- Box, G. E. P., & Jenkins, G. M. (1970). Time series analysis: Forecasting and control. Holden-Day.
- Chen, T., Li, M., Li, Y., Lin, M., Wang, N., Wang, M., ... & Zhang, Z. (2022). ARIMA-based resource allocation for cloud-native microservices. IEEE Transactions on Cloud Computing, 10(3), 1452-1465. <https://doi.org/10.1109/TCC.2021.3097342>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. Proceedings of NAACL-HLT 2019, 4171-4186. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- Fathalla, A., Li, K., & Salah, A. (2022). An LSTM-based distributed scheme for data transmission reduction of IoT systems. Neurocomputing, 485, 166-180. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.09.042>
- Gers, F. A., Schmidhuber, J., & Cummins, F. (2000). Learning to forget: Continual prediction with LSTM. NeuralComputation, 12(10), 2451-2471. <https://doi.org/10.1162/089976600300015015>
- Golovkina, A., Mogilnikov, D., & Ruzhnikov, V. (2024). Graph neural networks for metrics prediction in microservice architecture. In Lecture Notes in Computer Science (Vol. 14821, pp. 343-357). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50072-5_22
- Gomes, F., Gabriel, V., Rego, P., Trinta, F., & de Souza, J. (2024, February). Impact of OpenTelemetry Configuration on Observability and Telemetry Storage Cost of Microservices-Based Applications. In International Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services.
- Google Cloud. (2023). Time series forecasting with LSTM. <https://cloud.google.com/architecture/time-series-forecasting-with-lstm>
- Hemens, R. (2024). Automatic Instrumentation With OpenTelemetry for Software Visualization (Doctoral dissertation, Kiel University).
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation, 9(8), 1735-1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and practice (2nd ed.). OTexts.

- IBM. (2024). Procesamiento de lenguaje natural (PLN). <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/natural-language-processing>
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-Means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>
- Karkan, T. M. (2024). Performance Overhead Of OpenTelemetry Sampling Methods In A Cloud Infrastructure. [Master's thesis, Umeå University].
- Koniaris, B., Sinclair, D., & Mitchell, K. (2024, March). DanceMark: An open telemetry framework for latency-sensitive real-time networked immersive experiences. In *2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp. 462-463). IEEE.
- Kubernetes Documentation. (2025). Production-Grade Container Orchestration. <https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/>
- Kupakia. (2023). TF-IDF: ¿Qué es?. <https://www.kupakia.com/tf-idf/>
- Lesouple, J., Baudoin, C., Spigai, M., & Tourneret, J.-Y. (2021). Generalized Isolation Forest for anomaly detection. *Pattern Recognition Letters*, 149, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2021.06.005>
- Mahida, A. (2023). Enhancing Observability in Distributed Systems-A Comprehensive Review. *Journal Of Mathematical & Computer Applications*. Src/Jmca-166. Doi. Org/10.47363/Jmca/2023 (2), 135, 2-4.
- MDPI. (2023). Comparative analysis of TF-IDF and Hashing Vectorizer for fake news detection. *Proceedings of the 8th International Electrical Engineering Conference*. <https://www.mdpi.com/2673-4591/46/1/5>
- Niedermaier, S., Koetter, F., Freymann, A., & Wagner, S. (2019, October). On observability and monitoring of distributed systems—an industry interview study. In *International Conference on Service-Oriented Computing* (pp. 36-52). Cham: Springer International Publishing.
- Reichelt, D. G., Kühne, S., & Hasselbring, W. (2021). Overhead comparison of opentelemetry, inspectit and kieker.
- Sigelman, B. H., Barroso, L. A., Burrows, M., Stephenson, P., Plakal, M., Beaver, D., & Software Architectures. Doctoral dissertation.
- Smirnov, A. (2025). Monitoring and logging in distributed systems: application of OpenTelemetry and the ELK stack. *Universum: technical sciences: electronic scientific journal*, (3), 132.
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1), 37-45. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>
- Thakur, A., & Chandak, M. B. (2022). A review on opentelemetry and http implementation. *International journal of health sciences*, 6(S2), 15013-15023.
- Thomas, N. S., & Kaliraj, S. (2024). An improved and optimized Random Forest based approach to predict the software faults. *SN Computer Science*, 5(530), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s42979-024-02764-x>
- Torabi, H., Mirtaheri, S. L., & Greco, S. (2023). Practical autoencoder based anomaly detection by using vector reconstruction error. *Cybersecurity*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s42400-022-00134-9>
- Wu, X., Kumar, V., Quinlan, J. R., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., McLachlan, G. J., Ng, A., Liu, B., Yu, P. S., Zhou, Z.-H., Steinbach, M., Hand, D. J., & Steinberg, D. (2008). Top 10 algorithms in data mining. *Knowledge and Information Systems*, 14(1), 1–37. <https://doi.org/10.1007/s10115-007-0114-2>
- Wu, Z., Pan, S., Chen, F., Long, G., Zhang, C., & Yu, P. S. (2021). A comprehensive survey on graph neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(1), 4–24. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.2978386>

- Young, T., & Parker, A. (2024). Learning OpenTelemetry: Setting Up and Operating a Modern Observability System. " O'Reilly Media, Inc."
- Zhou, J., Cui, G., Hu, S., Zhang, Z., Yang, C., Liu, Z., ... & Sun, M. (2020). Graph neural networks: A review of methods and applications. *AI Open*, 1, 57–81.
<https://doi.org/10.1016/j.aiopen.2021.01.001>
- Hohn, A., & Gaun, C. (2020). *Kubernetes (DZone Kubernetes Refcards Bundle)*. DZone.
<https://dzone.com/storage/attachments/14131598-dzone-kubernetesbundle.pdf>

DESARROLLO DE UN SISTEMA DIFUSO PARA EVALUAR LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EN UNA EMPRESA TEXTIL

DEVELOPMENT OF A FUZZY SYSTEM TO ASSESS CUSTOMER SATISFACTION IN A TEXTILE COMPANY



I.I. Miren Yuliana Rios Nieves¹
Dr. Miguel Josué Heredia Roldán²
Dr. Oscar Báez Senties³
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez⁴

RESUMEN

La medición de la satisfacción del cliente en la confección textil enfrenta incertidumbre por la naturaleza subjetiva de las percepciones. Este trabajo desarrolla un sistema de inferencia difusa (Mamdani) para estimar el nivel de satisfacción a partir de tres variables de entrada: Calidad, Durabilidad y Comodidad. La salida corresponde a Satisfacción del cliente, definida en tres categorías: baja, normal y alta. Se emplean funciones de pertenencia trapezoidales en las entradas y triangulares en la salida; la defuzzificación se realiza mediante el método del centroide. Los datos provienen de una encuesta tipo Likert (0–10) y se normalizan a [0,1] para construir índices compuestos por variable. El sistema propuesto entrega un valor continuo de satisfacción que permite orientar acciones de mejora en confección, selección de materiales, ergonomía/ajuste de prenda y atención posventa.

ABSTRACT

Measuring customer satisfaction in textile manufacturing faces uncertainty due to the subjective nature of perceptions. This work develops a Mamdani fuzzy inference system to estimate customer satisfaction from three inputs: Quality, Durability, and Comfort. The output is Customer Satisfaction with three categories—low, normal, and high. Trapezoidal membership functions are used for inputs and triangular ones for the output; centroid defuzzification is applied. Data come from a 0–10 Likert survey and are normalized to [0,1] to build composite indices. The proposed system provides a continuous satisfaction score that guides improvements in garment making, material selection, fit/comfort, and after-sales service.

Palabras clave: Lógica difusa; satisfacción del cliente; industria textil; Mamdani; calidad percibida.

Key Words: Fuzzy logic; customer satisfaction; textile industry; Mamdani; perceived quality.

INTRODUCCIÓN

La industria textil y de la confección en México se mantiene como un componente relevante del aparato manufacturero nacional, tanto por su contribución económica como por su capacidad de generar empleo directo e indirecto. Reportes recientes confirman su peso específico dentro de las actividades manufactureras y su papel en cadenas de valor

¹ I.I. Miren Yuliana Rios Nieves estudiante de maestría en ingeniería industrial del TECNM campus Orizaba mirenrios211299@gmail.com

² Dr. Miguel Josué Heredia Roldán es docente del TECNM campus Orizaba miguel.hr@orizaba.tecnm.mx

³ Dr. Óscar Báez Senties es docente del TECNM campus Orizaba oscar.bs@orizaba.tecnm.mx

⁴ Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez es docente del TECNM campus Orizaba eloisa.gr@orizaba.tecnm.mx

intensivas en mano de obra y conocimiento (CANAINTEX, 2025; INEGI, 2024). Sin embargo, la intensificación de la competencia global y el aumento de las expectativas del consumidor han puesto en primer plano la satisfacción del cliente como criterio estratégico de diferenciación, especialmente en categorías como uniformes y prendas de uso prolongado. Medir dicha satisfacción no es superficial: la evaluación del consumidor une opiniones sobre las características del producto. (p. ej., calidad y durabilidad) con dimensiones de experiencia como la comodidad. Los enfoques tradicionales basados en promedios o escalas rígidas suelen capturar de forma incompleta la ambigüedad de percepciones como “buena calidad” o “durabilidad aceptable”. En este contexto, la lógica difusa proporciona una estructura oficial para mostrar datos imprecisos a través de variables lingüísticas y reglas aproximadas, permitiendo razonar de manera más cercana al juicio humano (Klir, n.d.; Ross, 2010; Zadeh, 1965). Sobre esa base, los sistemas de inferencia difusa de tipo Mamdani resultan especialmente útiles para problemas de evaluación y apoyo a la decisión donde convergen múltiples criterios con fronteras borrosas. Su formulación clásica aporta interpretabilidad y trazabilidad al proceso de estimación (Mamdani & Assilian, 1975; Ross, 2010). Además, su inclusión en áreas relacionadas con la industria textil y el rendimiento de las organizaciones demuestra que es posible usar las opiniones de los usuarios en paneles y sistemas de medición (Pîslaru et al., 2022). En el caso particular de la confección textil, la comodidad se presenta como un factor clave en cómo se utiliza la prenda y, por lo tanto, en la satisfacción general que se tiene con ella. La literatura reciente en ciencia textil detalla de qué manera la relación entre los materiales, el diseño y las circunstancias de uso influye en la comodidad percibida y afecta la evaluación final del cliente (Islam et al., 2023). Por ello, este trabajo amplía un modelo difuso inicial (calidad y durabilidad) para incorporar la comodidad como tercera variable de entrada, con el propósito de capturar de manera más realista la percepción integral del cliente en un entorno competitivo y cambiante (CANAINTEX, 2025; INEGI, 2024; Islam et al., 2023; Klir, n.d.; Mamdani & Assilian, 1975; Pîslaru et al., 2022; Ross, 2010; Zadeh, 1965).

METODOLOGÍA MAMDANI

La inferencia difusa puede definirse como el proceso de obtener un valor de salida a partir de valores de entrada mediante la teoría de conjuntos difusos. En este trabajo se utilizó el método de Mamdani, el cual consta de cuatro pasos principales:

1. Fuzzificación de las variables de entrada.
2. Evaluación de las reglas.
3. Agregación de las salidas de las reglas.
4. Defuzzificación

A continuación se presenta el desarrollo del modelo de predicción, con lógica difusa.

Fuzificación de las variables de entrada.

En esta fase se definieron las variables que conforman el sistema difuso y sus respectivos conjuntos lingüísticos. El modelo considera tres variables de entrada: calidad, durabilidad y comodidad, así como una variable de salida, satisfacción del cliente. Todas las variables se normalizaron en el intervalo $[0,1]$ para garantizar coherencia en el proceso de inferencia.

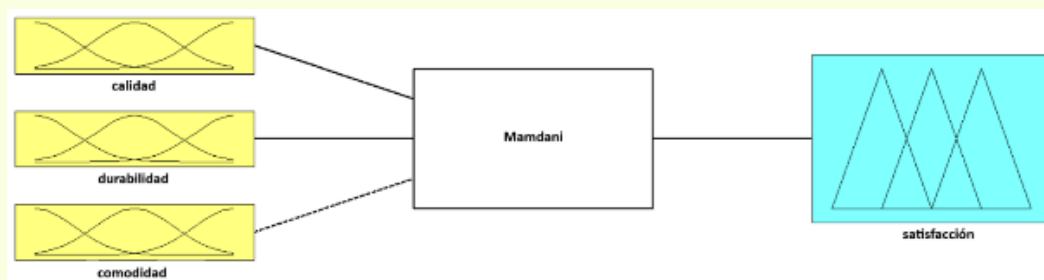


Figura 1 Diagrama de bloques del controlador fuzzy

Dado que el fenómeno evaluado es gradual y presenta zonas de transición amplias, las entradas se modelaron con funciones de pertenencia trapezoidales (trapmf) de cuatro parámetros $[a \ b \ c \ d]$, con el esquema hombro izquierdo para la categoría más baja, trapezoides solapados para categorías intermedias y hombro derecho para la categoría más alta. La salida se modeló con funciones triangulares (trimf) de tres parámetros $[a \ b \ c]$ por su interpretabilidad al defuzzificar.

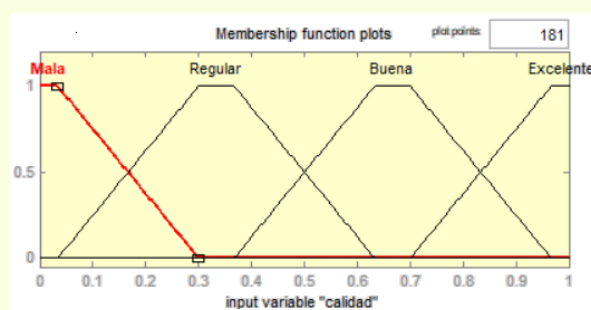


Figura 2 Variable "calidad" de las funciones de pertenencia para el error

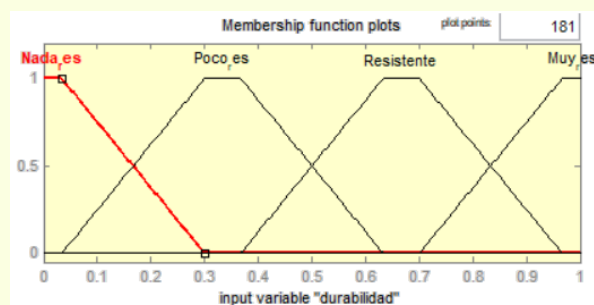


Figura 3 Variable "durabilidad" de las funciones de pertenencia para el error

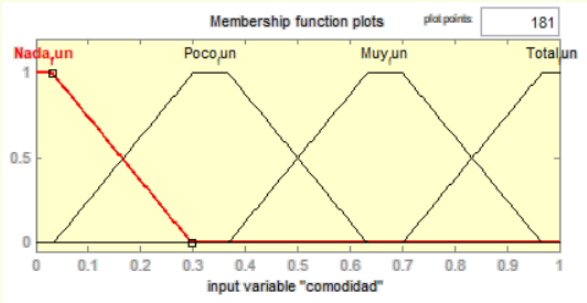


Figura 4 Variable "comodidad" de las funciones de pertenencia para el error

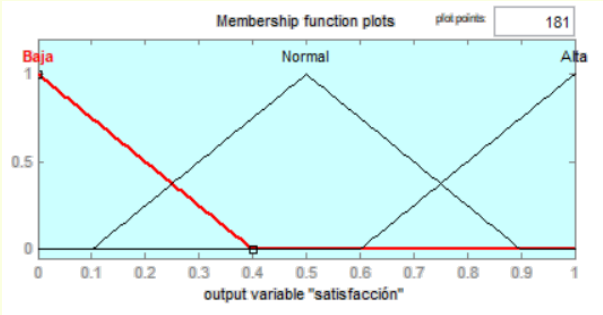


Figura 5 Variable de salida para la “satisfacción del cliente

Tablas de parámetros:

Tabla 1 Funciones de pertenencia de Calidad (trampf, 4p)

Etiqueta	Parámetros [a b c d]
Mala	[-0.3 -0.03333 0.03333 0.3]
Regular	[0.03333 0.3 0.3667 0.6333]
Buena	[0.3667 0.6333 0.7 0.9667]
Excelente	[0.7 0.9667 1.033 1.3]

Tabla 2 Funciones de pertenencia de Durabilidad (trampf, 4p)

Etiqueta	Parámetros [a b c d]
Nada resistente	[-0.3 -0.03333 0.03333 0.3]
Poco resistente	[0.03333 0.3 0.3667 0.6333]
Resistente	[0.3667 0.6333 0.7 0.9667]
Muy resistente	[0.7 0.9667 1.033 1.3]

Tabla 3 Funciones de pertenencia de Comodidad (trampf, 4p)

Etiqueta	Parámetros [a b c d]
Nada funcional	[-0.3 -0.03333 0.03333 0.3]
Poco funcional	[0.03333 0.3 0.3667 0.6333]
Muy funcional	[0.3667 0.6333 0.7 0.9667]
Totalmente funcional	[0.7 0.9667 1.033 1.3]

Tabla 4 Funciones de pertenencia de Satisfacción (trimf, 3p)

Etiqueta	Parámetros [a b c]
Baja	[-0.4 0 0.4]
Normal	[0.1 0.5 0.9]
Alta	[0.6 1 1.4]

Evaluación de las reglas

Con las variables ya difusas, el sistema consulta una base de reglas que describe cómo se traduce la combinación de calidad, durabilidad y comodidad en un nivel de satisfacción. Para evitar una explosión de combinaciones, se definió una base dispersa de seis reglas (Tabla 5) que cubre los casos extremos y los escenarios típicos de decisión en la empresa. Estas reglas se muestran de manera resumida en la Tabla 5, la cual representa la lógica implementada en el sistema:

Tabla 5 Reglas de pertenencia

No de regla	If	Calidad	and	Durabilidad	and	Comodidad	then	Satisfacción
R1	Si	Mala	y	Nada	y	Nada	Entonces	BAJA
R2	Si	Regular	y	Nada	y	Poco	Entonces	BAJA
R3	Si	Regular	y	Poco	y	Poco	Entonces	NORMAL
R4	Si	Buena	y	Resistente	y	Poco	Entonces	NORMAL
R5	Si	Buena	y	Resistente	y	Muy	Entonces	ALTA
R6	Si	Excelente	y	Muy	y	Total	Entonces	ALTA

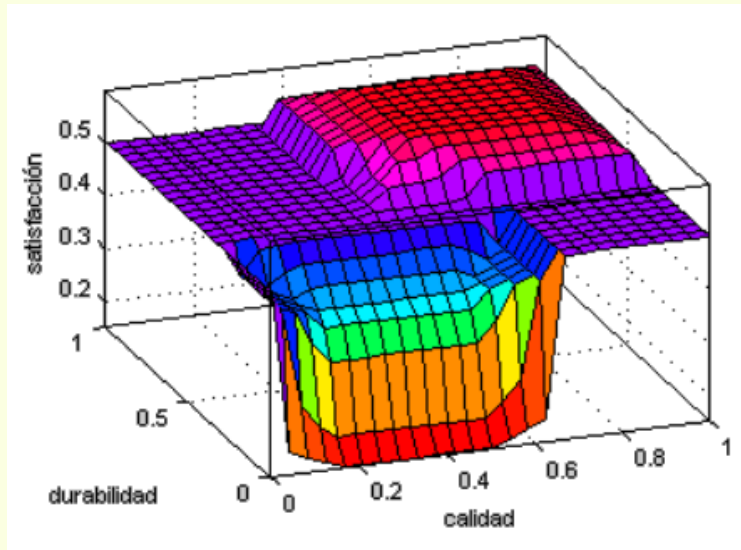
Agregación de las salidas de las reglas

En esta fase, el sistema difuso integra los resultados obtenidos a partir de las reglas definidas, con el propósito de obtener una salida global que represente la satisfacción del cliente. Para la ejecución del sistema de predicción se consideraron un total de 15 combinaciones de valores de entrada, correspondientes a diferentes niveles de calidad y durabilidad. Estos valores fueron fuzzificados y procesados por el sistema, generando los grados de pertenencia de la variable de salida. La Tabla 6 muestra los resultados de dichas combinaciones, donde se observa cómo la satisfacción evoluciona de valores bajos (0.13) hasta alcanzar un nivel de 0.87 conforme aumentan la calidad del producto y la durabilidad percibida:

Tabla 6 Resultados de la fuzzificación de las variables de entrada

No.	Calidad	Durabilidad	Comodidad	Satisfacción
1	0	0	0	0.13
2	0.0487	0.0487	0.0575	0.195
3	0.102	0.102	0.102	0.324
4	0.146	0.173	0.155	0.397
5	0.19	0.243	0.217	0.463
6	0.305	0.332	0.323	0.5
7	0.376	0.429	0.403	0.505
8	0.42	0.473	0.465	0.534
9	0.527	0.535	0.527	0.625
10	0.615	0.624	0.606	0.768
11	0.757	0.748	0.757	0.865
12	0.783	0.801	0.801	0.856
13	0.836	0.889	0.854	0.848
14	0.907	0.934	0.916	0.864
15	1	1	1	0.87

A continuación se presentan tres superficies de respuesta; en cada una se grafican dos entradas mientras la tercera permanece fija en 0.50 (región de solapamiento entre etiquetas).

Figura 6 Superficie de respuesta $S(\text{calidad}, \text{durabilidad})$ con $\text{comodidad}=0.5$ (zona de transición entre etiquetas)

Tendencia: la satisfacción permanece baja–media cuando una de las variables es reducida; al superar valores medios en ambas, aparece un plateau alto ($\approx 0.70\text{--}0.85$), coherente con la expectativa de que calidad y durabilidad conjuntas elevan la percepción global.

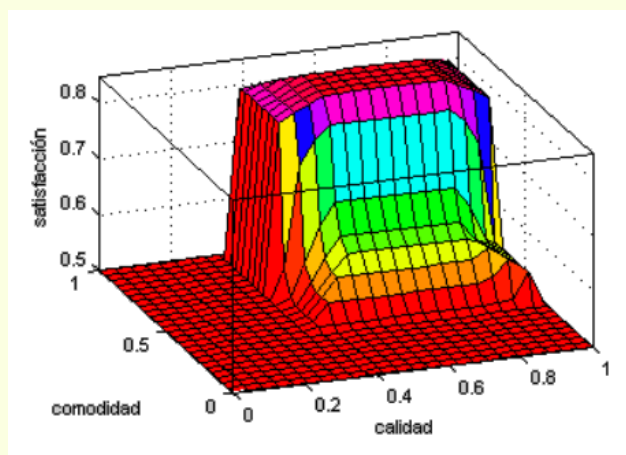


Figura 7 Superficie de respuesta $S(\text{calidad}, \text{comodidad})$ con $\text{durabilidad}=0.5$ (zona de transición entre etiquetas)

Tendencia: aun con calidad aceptable, una comodidad baja restringe la satisfacción a valores moderados; a medida que calidad y comodidad avanzan hacia niveles medios–altos, la superficie se desplaza a la zona alta de satisfacción.

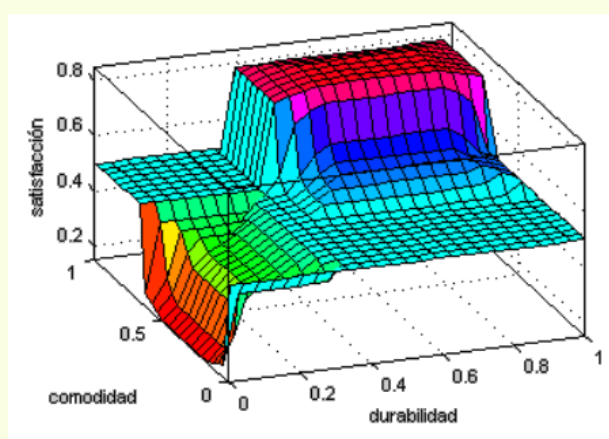


Figura 8 Superficie de respuesta $S(\text{durabilidad}, \text{comodidad})$ con $\text{calidad}=0.5$ (zona de transición entre etiquetas)

Tendencia: la combinación de durabilidad y comodidad determina el salto desde valores bajos a normales y, finalmente, a altos; si la comodidad es reducida, aun con durabilidad elevada la satisfacción difícilmente alcanza el plateau alto.

RESULTADOS

Defuzzificación de las variables

Una vez realizada la agregación de las salidas de las reglas, fue necesario transformar el conjunto difuso resultante en un valor numérico para su interpretación. Este procedimiento se conoce como defuzzificación. En este trabajo se aplicó el método del centroide, que consiste en calcular el centro de gravedad del área bajo la curva de pertenencia resultante. Para la defuzzificación se establecieron los límites inferiores y superiores de cada variable (Calidad, Durabilidad y Satisfacción), tal como se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7 Criterios para las variables de entrada y de salida

Valor	Límite Inferior		Variables		Límite Superior
Mala	0	≤	Calidad	<	0.25
Regular	0.25	≤	Calidad	<	0.5
Buena	0.5	≤	Calidad	<	0.75
Excelente	0.75	≤	Calidad	≤	1
Nada resistente	0	≤	Durabilidad	<	0.25
Poco resistente	0.25	≤	Durabilidad	<	0.5
Resistente	0.5	≤	Durabilidad	<	0.75
Muy resistente	0.75	≤	Durabilidad	≤	1
Nada funcional	0	≤	Comodidad	<	0.25
Poco funcional	0.25	≤	Comodidad	<	0.5
Muy funcional	0.5	≤	Comodidad	<	0.75
Totalmente funcional	0.75	≤	Comodidad	<	1
Baja	0.13	≤	Satisfacción	<	0.38
Normal	0.38	≤	Satisfacción	<	0.63
Alta	0.63	≤	Satisfacción	≤	0.87

De acuerdo con estos criterios, los valores obtenidos en la predicción se tradujeron a categorías lingüísticas de satisfacción. Los resultados de la defuzzificación se presentan en la Tabla 8, donde se observa cómo combinaciones de entradas (calidad, durabilidad y comodidad) se corresponden con niveles de satisfacción Baja, Normal o Alta.

Tabla 8 Resultados defuzzificados

No.	Calidad	Durabilidad	Comodidad	SATISFACCIÓN
1	Mala	Nada resistente	Nada funcional	BAJA
2	Mala	Nada resistente	Nada funcional	BAJA
3	Mala	Nada resistente	Nada funcional	BAJA
4	Mala	Nada resistente	Nada funcional	NORMAL
5	Mala	Nada resistente	Nada funcional	NORMAL
6	Regular	Poco resistente	Poco funcional	NORMAL
7	Regular	Poco resistente	Poco funcional	NORMAL
8	Regular	Poco resistente	Poco funcional	NORMAL
9	Buena	Resistente	Muy funcional	NORMAL
10	Buena	Resistente	Muy funcional	ALTA
11	Excelente	Resistente	Totalmente funcional	ALTA
12	Excelente	Muy resistente	Totalmente funcional	ALTA
13	Excelente	Muy resistente	Totalmente funcional	ALTA
14	Excelente	Muy resistente	Totalmente funcional	ALTA
15	Excelente	Muy resistente	Totalmente funcional	ALTA

CONCLUSIONES

La lógica difusa resulta una herramienta adecuada para evaluar la satisfacción del cliente en confección textil porque representa con realismo la incertidumbre de las percepciones. Al ampliar el modelo a calidad, durabilidad y comodidad, se obtuvo una lectura más integral del producto y se confirmó un patrón claro: la satisfacción crece conforme mejoran simultáneamente estos tres atributos, mientras que el atributo más débil limita el nivel alcanzable. En la práctica, la satisfacción alta se logra cuando la calidad se ubica al menos en Buena-Excelente, la durabilidad en Resistente-Muy resistente y la comodidad en Muy-Totalmente funcional. De requerir priorizar mejoras, elevar la comodidad (ajuste, ergonomía, transpirabilidad) ofrece el mayor impacto una vez asegurados estándares aceptables de calidad y durabilidad. En conjunto, el modelo apoya la toma de decisiones para dirigir acciones de confección, selección de materiales y diseño de prenda, fortaleciendo la gestión de la calidad y la competitividad de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INEGI. (2024, May). Conociendo la industria textil y de la confección. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463918141.pdf
- CANAINTEX. (2025, January). Información estadística. <https://canaintex.org.mx/informacion-estadistica-enero-2025/>
- Islam, M. R., Golovin, K., & Dolez, P. I. (2023). Clothing Thermophysiological Comfort: A Textile Science Perspective. *Textiles*, 3(4), 353–407. <https://doi.org/10.3390/TEXTILES3040024>
- Klir, G. Y. (n.d.). *Fuzzy Sets & Fuzzy Logic - Theory & Applications*. Retrieved November 3, 2025, from <https://es.scribd.com/doc/155266732/Fuzzy-Sets-Fuzzy-Logic-Theory-Applications-Klir-Yuan>
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2)
- Pîslaru, M., Alexa, L.-E., Herghiligiu, I.-V., & Vîlcu, A. (2022). Fuzzy Based System for Textile Company Performance Assessment. *International Symposium “Technical Textiles - Present and Future,”* 250–255. <https://doi.org/10.2478/9788366675735-040>
- Ross, T. J. (2010). *FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS: Third Edition*. *Fuzzy Logic with Engineering Applications: Third Edition*, 1–585. <https://doi.org/10.1002/9781119994374>
- Zadeh, L. (1965). Conjuntos difusos. In *Información y control* (pp. 338–353). <https://es.scribd.com/document/82445598/Fuzzy-Sets-Zadeh-1965>

MODELO DE PREDICCIÓN PARA LAS ACTIVIDADES DE SECUENCIACIÓN EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES, A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES



PREDICTION MODEL FOR SEQUENCING ACTIVITIES IN THE SEMICONDUCTOR MANUFACTURING PROCESS THROUGH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Ing. Carlos Emmanuel Martínez Ortega¹

Dr. Oscar Báez Senties²

Dr. Miguel Josué Heredia Roldán³

Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez⁴

RESUMEN

El presente artículo propone el desarrollo de un modelo de predictivo para las operaciones de fabricación de semiconductores, enfocado en identificar los arreglos de secuenciación óptimos para lotes de obleas mediante el uso de redes neuronales artificiales. En estos procesos, los lotes atraviesan repetidamente las mismas máquinas y etapas, combinando productos con diferentes tiempos de procesamiento y prioridades. El modelo integra variables clave como el tiempo total de fabricación (makespan), tasa promedio de utilización, tiempo medio de permanencia (TMP), entre otras. La metodología garantiza la simulación de datos reales para el desarrollo y validación del modelo predictivo. Este estudio se desarrolló con el simulador SIMNET II y el programa MATLAB®, donde fue posible crear, entrenar y validar la arquitectura más adecuada de la red neuronal, obteniendo resultados relevantes de una correlación superior a $R=0.9$ para todas las variables de salida, entre los datos simulados y los datos entrenados.

ABSTRACT

This article proposes the development of a predictive model for semiconductor manufacturing operations, focused on identifying the optimal sequencing arrangements for wafer batches through the use of artificial neural networks. In these processes, batches repeatedly pass through the same machines and stages, combining products with different processing times and priorities. The model integrates key variables such as total manufacturing time (makespan), average utilization rate, and average dwell time (TMP), among others. The methodology ensures the simulation of real data for the development and validation of the predictive model. This study was carried out using the SIMNET II simulator and the MATLAB® software, where it was possible to create, train, and validate the most suitable neural network architecture, obtaining significant results with a correlation above $R = 0.9$ for all output variables between the simulated and trained data.

Palabras clave: Predicción en la fabricación de semiconductores, redes neuronales artificiales, secuenciación por lotes.

Key Words: Prediction in semiconductor manufacturing, artificial neural networks, batch sequencing.

¹ Ing. Carlos Emmanuel Martínez Ortega es estudiante de maestría en ingeniería industrial del TECNM campus Orizaba carlosm21ipn@gmail.com

² Dr. Oscar Báez Senties es docente del TECNM campus Orizaba. oscar.bs@orizaba.tecnm.mx

³ Dr. Miguel Josué Heredia Roldán es docente del TECNM campus Orizaba miguel.hr@orizaba.tecnm.mx

⁴ Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez es docente del TECNM campus Orizaba eloisa.gr@orizaba.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN

La fabricación de semiconductores constituye uno de los sistemas productivos más complejos y estratégicos de la economía global, el alto nivel de precisión requerido en cada etapa y la diversidad de productos procesados simultáneamente convierten a la secuenciación y planificación de operaciones en un desafío central para poder lograr la eficiencia productiva, la calidad y la sostenibilidad de los sistemas de fabricación. En este contexto, la integración de simulación e inteligencia artificial se ha consolidado como la tendencia dominante para optimizar la planificación y el control operativo en la industria de los semiconductores.

El uso de simulación de eventos discretos ha permitido modelar de manera realista la dinámica de los procesos de fabricación, donde los lotes de obleas atraviesan múltiples estaciones y rutas alternativas bajo condiciones que presenten aleatoriedad y que varíen a través del tiempo. (Ghaedy-Heidary et al., 2024) desarrollaron un marco de optimización por simulación estocástica flexible para la estación de fotolitografía, identificada como cuello de botella, demostraron que sus resultados obtuvieron mejoras significativas en la utilización de equipos y reducción del makespan. Asimismo, (Pendyala et al., 2024) construyeron un conjunto de datos de series temporales de fabricación de semiconductores, generado mediante la simulación por componentes, lo que facilita el entrenamiento de algoritmos de IA con datos sintéticos y reproducibles. Estos avances confirman que la simulación no solo es una herramienta de validación, sino también una fuente esencial de datos para la predicción y el aprendizaje automático.

El papel de la inteligencia artificial en la fabricación de semiconductores ha evolucionado desde la automatización tradicional hacia sistemas predictivos y de autoaprendizaje. (Andelfinger et al., 2025) propusieron un sistema de aprendizaje por refuerzo profundo con redes neuronales gráficas heterogéneas, en el cual, los resultados obtenidos demostraron que los modelos generados con IA pueden aprender del entorno simulado y se ajustan a políticas heurísticas en tiempo real.

Asimismo, la detección temprana de defectos y el incremento del rendimiento se han beneficiado del uso de IA y aprendizaje automático. (Katari et al., 2024) presentaron un marco híbrido de AutoML explicable para el diagnóstico automatizado de defectos, capaz de identificar patrones complejos en grandes volúmenes de datos provenientes de sensores de proceso. Con estos sistemas, se ofrece interpretabilidad y trazabilidad, lo cual fortalece la confianza en la IA y se reducen los costos asociados a errores de producción.

En cuanto al control inteligente del proceso de fabricación, ha evolucionado mediante el uso de gemelos digitales y sistemas de IA explicable. (Urgo et al., 2024) presentaron un enfoque basado en fábricas digitales que entrenan redes neuronales convolucionales con datos sintéticos, logrando sistemas de monitoreo y diagnóstico, sin depender ni comprometer información sensible del fabricante. De manera paralela, (Casco et al., 2024) demostraron que los gemelos digitales integrados con IA favorecen la toma de decisiones colaborativa entre humanos y máquinas, además de habilitar estrategias de mantenimiento predictivo, control de calidad y eficiencia energética.

La gestión del conocimiento industrial se está transformando gracias a los avances en la colaboración del humano-máquina y la capacitación que surge del uso de tecnologías de simulación avanzada. (Kanarik et al., 2023) exploraron dicho escenario, en el cual, los ingenieros y los algoritmos ajustan de manera conjunta las condiciones de proceso para acelerar el desarrollo de nuevos productos, mostrando que la sinergia entre experiencia humana y los algoritmos adaptativos, acelera el desarrollo de procesos y la identificación de parámetros críticos. Por su parte, (Jha et al., 2025) aplicaron simulaciones de realidad virtual (VR) potenciadas por IA para entrenar operadores de procesos críticos, logrando una reducción significativa de errores humanos y un incremento en la comprensión de los flujos productivos. Estos avances evidencian la importancia del factor humano en la transición hacia fábricas inteligentes, donde la IA no reemplaza al operador, sino que potencia su capacidad cognitiva y de decisión.

Por otra parte, (Báez, O 2007) destaca que la adopción efectiva de la IA y la analítica de datos en la manufactura avanzada depende de la madurez tecnológica de las organizaciones, la calidad de sus datos y la capacitación de su capital humano. De este modo, la implementación exitosa de modelos predictivos y sistemas inteligentes requiere no solo de infraestructura técnica, sino también de un marco de gestión del conocimiento que integre innovación, ética y gestión digital.

Finalmente, en materia de sostenibilidad y resiliencia de la cadena de suministro global, los semiconductores se han convertido en una prioridad estratégica. (Raoul Ramirez & Le, 2024) realizaron una revisión sistemática sobre la resiliencia en la cadena de suministro de los semiconductores, proponiendo un marco conceptual que integra a la IA, los gemelos digitales y la analítica predictiva. Su investigación subraya que la digitalización y la inteligencia artificial no solo mejoran la producción, sino que fortalecen la capacidad de respuesta ante crisis.

Como resultado de la literatura revisada, se obtiene que la integración entre simulación, inteligencia artificial, gemelos digitales y la colaboración humano-máquina está redefiniendo la fabricación de semiconductores hacia un sistema de mejora continua, basado en la predicción y adaptación. Bajo esta perspectiva, el presente trabajo propone el desarrollo de un modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales, validado mediante simulación, lo cual contribuye al avance de la manufactura inteligente, resiliente y sostenible.

METODOLOGÍA

La presente metodología que se utilizó para este estudio se presenta en la Figura 1:

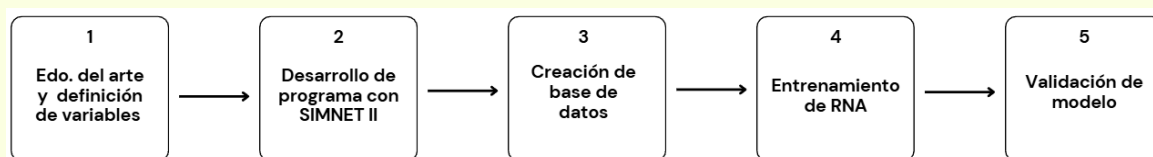


Figura 1 Metodología propuesta.

Fuente: Elaboración propia

El estudio inició con la revisión del estado del arte y la definición de las variables que conforman el modelo propuesto, estableciendo los parámetros más influyentes en la secuenciación de las operaciones de fabricación de semiconductores. Posteriormente, se desarrolló un programa de simulación que representa el proceso productivo mediante el uso del simulador SIMNET II, permitiendo reproducir las condiciones reales de operación y generar información representativa del sistema. De acuerdo a los resultados obtenidos, se generó una base de datos que integra las secuencias de producción junto con las variables de salida relevantes para el análisis; a partir de esta información, se procedió al entrenamiento de la red neuronal artificial conforme a los objetivos definidos, buscando ajustar los pesos y conexiones para mejorar la capacidad predictiva del modelo. Finalmente, se realizó la validación del modelo de predicción, verificando su precisión y desempeño frente a los datos simulados. En este ámbito, el desarrollo de las redes neuronales tiene la intención de predecir y representar la complejidad dinámica del sistema de fabricación de semiconductores.

1. Estado del arte y definición de las variables del modelo.

En este paso se realizó una búsqueda tanto en tesis como en artículos de fabricación de semiconductores, en los cuales describieran que este campo de estudio está experimentando una transformación impulsada por la integración de simulación avanzada e inteligencia artificial, orientada a optimizar la secuenciación, aumentar la productividad y la estabilidad del proceso. Posteriormente, dentro de este trabajo se conformaron lotes de diferentes tipos de obleas, cuyos parámetros impactan directamente en la secuencia y duración de las operaciones de manufactura. Dichas variables fueron concentradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentrado de variables

Variables	Rango
Producto 1	1,2,3,4
Producto 2	1,2,3,4
Producto 3	1,2,3,4
Producto 4	1,2,3,4

Fuente: Elaboración propia

Se definieron las 4 variables como fundamentales para el proceso de secuenciado, llamadas variables de entrada (mencionadas en la Tabla 1) y 6 variables de salida “Y”, las cuales son el tiempo total de fabricación (makespan), tasa promedio de utilización, tiempo medio de permanencia (TMP), desviación estándar del TMP, promedio de tiempo de espera y el promedio de lotes almacenados.

2. Desarrollo de un programa a través del simulador SIMNET II.

Mediante el programa SIMNET II, se realizó la simulación de datos tomando como variables de entrada los rangos propuestos para los 4 productos establecidos en la Tabla 1. En la Figura 2 se muestra el programa para la secuenciación de los datos de entrada “X”.

```

Line 8 Col 2 Size 106 ■ C:FABSEMI.TXT
$PROJECT:TALLER_DIDACTICO_SEMICONDUCTORES;20/04/25;CEND:
$DIMENSION:ENTITY(120):A(4):
$ATTRIBUTES:TIPO;TEMP;QUELTA:
$BEGIN,MSGOFF:
  CONUDY *S:130.0000;;-4:;/L/LIM=024:&
                                          /S/ROT(PROD01,PROD02,PROD03,PROD04):

```

Figura 2 Programa de simulación SIMNET II para las variables de entrada X.

Fuente: Programa SIMNET II

3. Creación de la base de datos.

Para este estudio se generaron 256 combinaciones de secuenciación para las 4 variables de entrada, parte de ellas se muestra en la Figura 3.

Secuenciación				
1	1	2	3	4
2	1	2	4	4
3	1	3	2	3
4	1	3	4	2
5	2	1	3	4
6	2	1	3	4
7	2	3	4	2
8	2	3	1	3
9	2	4	2	1
10	3	1	4	2
11	3	2	1	4

Figura 3 Secuenciación simulada en SIMNET II.

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se tomaron tiempos y movimientos del taller de fabricación, extraídos del estado del arte en la literatura, los cuales afectarían a las variables del proceso de fabricación. La secuencia de estaciones de una planta de semiconductores está dividida en diferentes zonas, donde las obleas circulan repetidamente entre diferentes procesos. A continuación, se puede observar en qué consiste cada uno de ellas (véase la Tabla 2).

Tabla 2. Estaciones en una planta de semiconductores

Núm.	Zona	Descripción
1	Difusión	Se introducen impurezas controladas en el silicio para mejorar su conductividad.
2	Fotolitografía	Se transfiere el patrón de un circuito al wafer, usando luz ultravioleta y una máscara.
3	Grabado	Se eliminan selectivamente las capas de material usando procesos químicos.
4	Pruebas	Verificación eléctrica y funcional de los dispositivos antes del encapsulado.
5	Metalización	Depósito de capas metálicas para formar las interconexiones eléctricas.

Fuente: Elaboración propia

4. Entrenamiento de la red de neuronas por objetivo definido.

En función de las variables de entrada se realizó el cálculo de las variables de salida dentro del simulador SIMNET II. Para este estudio se determinó utilizar las variables más significativas que presenta el proceso productivo de obleas y que se obtienen al pasar por diferentes etapas como son difusión, fotolitografía, grabado, entre otras; y siguiendo el orden de distribución del taller de la Ilustración 4. A partir de lo anterior, obtuvimos el tiempo total de fabricación (makespan) como Y1, tasa promedio de utilización como Y2, tiempo medio de permanencia (TMP) como Y3, desviación estándar del TMP como Y4, promedio de tiempo de espera como Y5 y el promedio de lotes almacenados como Y6. Lo anterior se presenta en la Figura 4.

Makespan	Tasa Promedio de Utilización	Tiempo Medio de Permanencia	Desviación Estándar del TMP	Promedio de Tiempo de Espera	Promedio de Lotes Almacenados
7457	0.6316	303.075	80.40511209	254.625	2.735
7835	0.609108333	327.41	135.3968065	273.67	2.91
8003	0.604325	253.03	331.9724916	234.985	3.19
7242	0.638758333	183.365	259.3172699	159.025	2.48
8438	0.583833333	309.24	401.976063	278.335	3.7
8131	0.591741667	324.24	209.6430185	255.665	3.115
7063	0.651083333	155.105	219.3515946	135.89	2.175
7822	0.6048	287.925	158.285853	218.9	2.75
7728	0.616925	241.34	327.2914447	221.77	3.185
7616	0.625491667	314.13	102.601194	271.39	2.84
7600	0.63	217.055	280.9830216	194.725	2.79

Figura 4 Datos simulados obtenidos con SIMNET II.

Fuente: Elaboración propia

Mediante el programa de Matlab®, se realizaron las diferentes arquitecturas de RNA (redes neuronales artificiales), para poder determinar la mejor arquitectura posible que represente el modelo de la red. Las redes utilizadas fueron de backpropagation, el algoritmo de aprendizaje fue Levenberg- Marquardt y la función de evaluación para el aprendizaje es la correlación de las variables simuladas contra calculadas por la red, donde se espera obtener un valor de $R=1$.

El mejor resultado se obtuvo con la siguiente configuración: 4 entradas y 4 neuronas ocultas para Y2 (Tasa Promedio de Utilización) cuando $R=1$, asimismo, con una arquitectura diferente en cuanto al número de neuronas ocultas, alcanzó valores de R mayores a 0.9 para Y1, Y3, Y4, Y5 y Y6.

Como resultado, el aprendizaje de la red de neuronas para la salida Y2 (Tasa Promedio de Utilización) no se puede mejorar, es decir, que los resultados simulados son idénticos a los resultados calculados por las redes de neuronas artificiales. Para las demás salidas, el coeficiente de correlación fue alto (mayor a $R=0.9$) y se obtuvo con la mejor combinación de neuronas ocultas para cada caso. De forma más detallada, se muestra la arquitectura de la RNA en la tabla 3.

Tabla 3. Arquitectura de la RNA

Var Y	Arquitectura de la red			Entrenar la red neuronal					
	Capas de entrada	Capas ocultas	Capas de salida	Entrenamiento		Validación		Prueba	
				MSE	R	MSE	R	MSE	R
Y1	4	22	1	18377.68e-0	9.52437e-1	21121.10e-0	9.42959e-1	19332.77e-0	9.54179e-1
Y2	4	4	1	3.54492e-3	9.99999e-1	3.76491e-3	9.99999e-1	3.59722e-3	9.99999e-1
Y3	4	22	1	542.73e-0	9.65816e-1	563.5521e-0	9.60629e-1	644.3062e-0	9.51820e-1
Y4	4	24	1	1496.06e-0	9.58328e-1	1689.022e-0	9.51491e-1	1768.872e-0	9.50778e-1
Y5	4	21	1	471.77e-0	9.53636e-1	492.003e-0	9.55035e-1	483.984e-0	9.48099e-1
Y6	4	19	1	2.55e-2	9.63272e-1	3.0342e-2	9.54278e-1	2.53842e-2	9.63737e-1

Fuente: Elaboración propia

5. Validación del modelo de predicción

En esta última etapa se realiza la comparación entre los datos entrenados por la RNA y los datos obtenidos con la simulación de SIMNET II (véase la Figura 5).

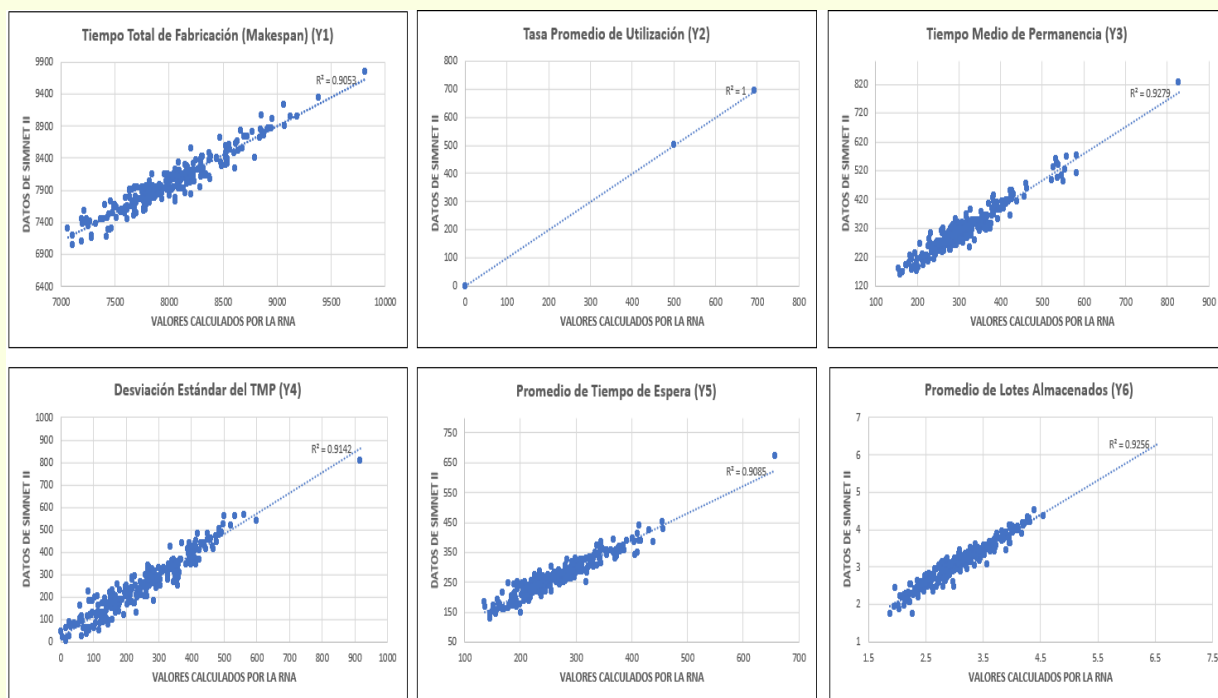


Figura 5 Validación de variables de salida Y1 a Y6.

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Después de un análisis del estado del arte se pudieron determinar aquellas variables que son clave para el proceso de secuenciación de lotes de obleas de semiconductores. A través de la simulación con SIMNET II fue posible generar una base de datos con 4 entradas y a su vez calcular 6 salidas (Y1 a Y6). Finalmente, con la base de datos fue posible crear 6 redes neuronales para su uso en el modelo de predicción, teniendo los resultados de la validación. En los gráficos mostrados anteriormente en la Figura 5 muestran los valores calculados por

la RNA para distintos indicadores de desempeño en la fabricación de semiconductores, en los 6 casos, los puntos se alinean de forma cercana a la línea de tendencia, indicando una alta correlación entre los datos de la predicción y los reales. Los coeficientes superiores a $R=0.9$ demuestran la precisión del modelo predictivo en variables clave como el tiempo total de fabricación (makespan), la tasa promedio de utilización, el tiempo medio de permanencia, etc. En síntesis, resultados confirman que la red neuronal logró replicar con alta fidelidad el comportamiento del sistema simulado, lo cual valida la capacidad para poder predecir el rendimiento operativo dentro de los procesos de secuenciación de semiconductores.

CONCLUSIONES

La integración de la simulación e inteligencia artificial permitió desarrollar un modelo predictivo altamente preciso para la secuenciación de lotes en la fabricación de semiconductores, logrando coeficientes de correlación superiores a $R=0.9$ y alcanzando $R=1$ para el caso de la tasa promedio de utilización (Y2). Este resultado evidencia la efectividad del uso combinado del programa de simulación SIMNET II y las redes neuronales artificiales para representar la complejidad dinámica del sistema productivo de obleas, identificando variables críticas que conforman este proceso. Se demuestra que las redes neuronales pueden aprender de los patrones operativos del sistema, posibilitando la predicción de indicadores clave de desempeño sin necesidad de interrumpir las operaciones reales. Esta metodología contribuye al avance de la manufactura inteligente al fortalecer factores como son la eficiencia operativa, la capacidad de producción, entre otros, consolidándose como una herramienta muy útil para la toma de decisiones en entornos industriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andelfinger, P., Bi, J., Zhu, Q., Zhou, J., Zhang, B., Zhang, F. F., Chan, C. W., Gan, B. P., Cai, W., & Zhang, J. (2025). Learning to Optimize Capacity Planning in Semiconductor Manufacturing. <https://arxiv.org/pdf/2509.15767>
- Casco, M. E., Fogliato, N. M., & Roatta, S. E. (2024). Gemelos digitales e Inteligencia Artificial en la industria de procesos. XXX Congreso Argentino de Ciencias de La Computación, 639–648. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/176201>
- Ghaedy-Heidary, E., Nejati, E., Ghasemi, A., & Torabi, S. A. (2024). A simulation optimization framework to solve Stochastic Flexible Job-Shop Scheduling Problems—Case: Semiconductor manufacturing. *Computers & Operations Research*, 163, 106508. <https://doi.org/10.1016/J.COR.2023.106508>
- Jha, I., Codina, G., Dong, A., Hong, K., Rodriguez, A., Chen, F., Zhu, J., & Li, G. P. (2025). AI-Powered VR Simulations for Semiconductor Industry Training and Education. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.14933891>
- Kanarik, K. J., Osowiecki, W. T., Lu, Y. J., Talukder, D., Roschewsky, N., Park, S. N., Kamon, M., Fried, D. M., & Gottscho, R. A. (2023). Human-machine collaboration for improving semiconductor process development. *Nature* 2023 616:7958, 616(7958), 707–711. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05773-7>
- Katari, M., Shanmugam, L., & Arasu Malaiyappan, J. N. (2024). Integration of AI and Machine Learning in Semiconductor Manufacturing for Defect Detection and Yield

Improvement. Journal of Artificial Intelligence General Science (JAIGS) ISSN:3006-4023, 3(1), 418–431. <https://doi.org/10.60087/JAIGS.V3I1.191>

- Pendyala, V. K., Sarjoughian, H. S., Potineni, B. S., & Yellig, E. J. (2024). A Benchmark Time Series Dataset for Semiconductor Fabrication Manufacturing Constructed using Component-based Discrete-Event Simulation Models. <https://arxiv.org/pdf/2408.09307>
- Raoul Ramirez, Z., & Le, T. V. (2024). Semiconductor Supply Chain Resilience: Systematic Review, Conceptual Framework, Implementation Challenges, and Future Research Directions. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4994726>
- Báez, O. (2007). Méthodologie d'aide à la décision multicritère pour l'ordonnancement d'ateliers discontinus. 255. <https://doi.org/10.34894/VQ1DJA>
- Urgo, M., Terkaj, W., & Simonetti, G. (2024). Monitoring manufacturing systems using AI: A method based on a digital factory twin to train CNNs on synthetic data. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 50, 249–268. <https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2024.03.005>

PREDICCIÓN DEL FLUIDO TIPO EMULSIÓN INVERSA EN POZOS PETROLEROS MEDIANTE EL USO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

PREDICTION OF INVERSE EMULSION-TYPE DRILLING FLUID IN OIL WELLS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS.



I.Q. Yamilet Isabel Guevara Rivera¹

Dr. Oscar Báez Sentíes²

Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez³

Dr. Miguel Josué Heredia Roldán⁴

RESUMEN

El presente estudio de investigación propone el desarrollo de un modelo de predicción con el objetivo de modelar la composición del fluido base aceite tipo Emulsión Inversa (E.I.), empleado en la perforación de pozos petroleros mediante el uso de redes neuronales artificiales. Dicho enfoque integra diversas variables tales como densidad, contenido de sólidos, porcentaje de aceite, porcentaje de agua, viscosidad, gel 0, gel 10 y salinidad para poder predecir la formulación adecuada de materiales y aditivos que se emplean en la preparación del fluido E.I. La metodología elegida garantiza que los datos reales puedan ser simulados para el desarrollo del modelo de predicción. Este estudio fue desarrollado utilizando el simulador SIMNET II y el programa de acceso gratuito de MATLAB®, donde fue posible crear, entrenar y validar la arquitectura más adecuada para la red de neuronas, obteniendo resultados relevantes de una correlación superior a $R = 0.9997$ para todas las variables de salida.

ABSTRACT

The present research study proposes the development of a prediction model with the objective of modeling the composition of the oil-based fluid of the Inverse Emulsion (I.E.) type, used in the drilling of oil wells through the use of artificial neural networks. This approach integrates various variables such as density, solid content, oil percentage, water percentage, viscosity, gel 0, gel 10 and salinity, in order to predict the appropriate formulation of materials and additives used in the preparation of the I.E. fluid. The chosen methodology ensures that real data can be simulated for the development of the prediction model. This study was developed using the SIMNET II simulator and the free-access MATLAB® program, where it was possible to create, train and validate the most suitable architecture for the neural network, obtaining relevant results with a correlation higher than $R = 0.9997$ for all output variables.

Palabras clave: Predicción, redes neuronales artificiales, fluido de perforación tipo emulsión inversa.

Key Words: Prediction, artificial neural networks, inverse emulsion-type drilling fluid.

INTRODUCCIÓN

La optimización de fluidos de perforación representa un reto constante en la industria petrolera, ya que de su formulación depende tanto la estabilidad del pozo como la eficiencia de la operación. En particular, la utilización de fluidos tipo de emulsión inversa ha adquirido

¹ I.Q. Yamilet Isabel Guevara Rivera estudiante de maestría en ingeniería industrial del TECNM campus Orizaba yamiletgury@gmail.com

² Dr. Óscar Sentíes Báez es docente del TECNM campus Orizaba oscar.bs@orizaba.tecnm.mx

³ Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez es docente del TECNM campus Orizaba eloisa.gr@orizaba.tecnm.mx

⁴ Dr. Miguel Josué Heredia Roldán es docente del TECNM campus Orizaba miguel.hr@orizaba.tecnm.mx

relevancia debido a sus propiedades que permiten mejorar la extracción de petróleo en condiciones difíciles.

Las emulsiones inversas son sistemas bifásicos donde la fase continua es aceite y la fase dispersa es agua, lo que permite reducir la viscosidad aparente y mejorar la movilidad en yacimientos difíciles.(Ferreira et al., 2025). No obstante, el control de propiedades críticas como la viscosidad, la estabilidad de las fases y la reología en condiciones extremas supone una tarea compleja y costosa. (Kang et al., 2022).

Entre los principales desafíos de las emulsiones inversas se destacan los siguientes:

- Estabilidad: La inestabilidad de estas emulsiones es un problema crítico que puede ocasionar separación de fases, como la proporción de agua y aceite, así como los aditivos utilizados, requieren un control preciso. (Tian et al., 2022)
- Control de parámetros: Los parámetros que influyen en la estabilidad y rendimiento del fluido, así como los aditivos utilizados, requieren un control preciso.(Alsabagh et al., 2020)
- Costo: La implementación de estas emulsiones implica costos significativos relacionados con la producción, transporte y manejo de los fluidos, por lo que es necesario evaluar cuidadosamente la relación costo-beneficio para cada proyecto.(Li et al., 2024)

Diversos estudios han demostrado que las redes neuronales artificiales y otros modelos predictivos permiten predecir propiedades reológicas de emulsiones inversas, como viscosidad, plasticidad y gel, lo que facilita la optimización de la formulación de los fluidos de perforación y reduce la necesidad de pruebas experimentales repetitivas.(Alsabaa et al., 2020)

Alcorta-García, 2023 menciona que mientras otros usan la implementación de sistemas de control autónomos basados en inteligencia artificial en procesos de recuperación mejorada de petróleo para ajustar en tiempo real parámetros críticos de las emulsiones, como la proporción de fases y la adición de aditivos donde se optimiza la estabilidad de fluido y mejora la eficiencia de producción. Reduciendo errores humanos y pérdidas por separación de fases. La inteligencia artificial facilita la toma de decisiones basada en datos, permitiendo que los sistemas de control respondan automáticamente a cambios en las condiciones del yacimiento y mantengan un desempeño óptimo del proceso.

Se ha encontrado que los modelos basados en redes neuronales y árboles de decisión pueden identificar patrones complejos en los datos. Kubra et al., 2025 menciona que en estudios recientes hacen uso del modelado predictivo al implementar algoritmos de aprendizaje automático para predecir el comportamiento de emulsiones bajo diversas condiciones.

Ferreira et al., 2025 señala que, durante el procesamiento del petróleo, la desemulsificación química cumple un papel crucial en la separación del agua producida. Sin embargo, la evaluación experimental de la eficiencia de los desemulsificantes suele realizarse mediante prueba y error, lo que implica un alto consumo de tiempo y recursos. Para superar esta limitación se aplicó un enfoque sistemático que combina el diseño de experimentos (DOE) con modelos de predicción basados en inteligencia artificial, capaces de identificar patrones

complejos y estimar con mayor precisión la eficiencia de una formulación comercial de desemulsificante.

La literatura revisada subraya la importancia de las emulsiones inversas en la industria petrolera y el potencial significativo que ofrecen las herramientas de inteligencia artificial para optimizar su uso. Aunque los desafíos en la estabilidad y costos persisten, el avance en técnicas de modelado predictivo y control autónomo ofrece una dirección prometedora para la investigación futura y la aplicación en el campo. Estos hallazgos justifican la implementación de modelado con redes neuronales en emulsiones inversas en pozos de perforación.

METODOLOGÍA

La presente metodología que se utilizó para este estudio tiene los pasos que a continuación se mencionan:

1. Estado del arte y definición de las variables del modelo.
2. Desarrollo de un programa de simulación que representa las variables de formulación del fluido de emulsión inversa.
3. Creación de una base de datos, que incluye la secuenciación y las variables de salida.
4. Entrenamiento de la red de neuronas por objetivo definido.
5. Validación del modelo de predicción

El desarrollo de las redes neuronales tiene la intención de predecir los niveles de calidad del fluido base aceite tipo de Emulsión Inversa (E.I.) empleado en la perforación de pozos petroleros para su optimización. Dicha metodología se presenta en la figura1. (véase figura 1).

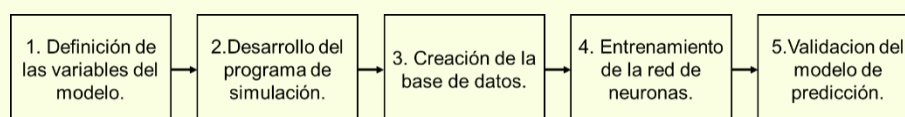


Figura 9 Metodología.

1. Estado del arte y definición de las variables del modelo.

En este paso se realizó una búsqueda exhaustiva tanto en libros como artículos en el cual definieran cuales son las variables que pueden afectar directamente la calidad del fluido de emulsión inversa base aceite, dichas variables fueron concentradas en la siguiente tabla. (véase tabla 1).

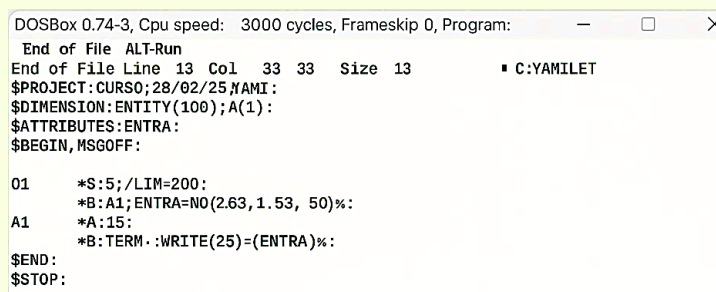
Tabla 10 Concentrado de variables.

Variables	Rangos
Densidad	0.96 – 1.92 g/cm ³ (8.0-16.0 lb/gal)
% solidos	0.03 – 0.10 fracción (0-1) o %
% aceite	0.60 - 90 (60 - 90 %) fracción (0-1) o %
% agua	0.10 - 0.40 (10 - 40 %) fracción (0-1) o %
Viscosidad	20 – 85 cP (mPa·s)
Gel 0	2 – 10 lb/100 ft ²
Gel 10	5 – 30 lb/100 ft ²
Salinidad original	50,000 – 250,000 ppm (mg/L)

Mediante este proceso de investigación del estado del arte en la literatura se definieron las 8 variables “X” como fundamentales para la calidad llamadas variables de entrada, (mencionadas en la Tabla 1) y 6 variables de salida “Y” las cuales son Y1 relación agua/aceite, Y2 SCI (índice compactación), Y3 Salinidad relativa, Y4 fracción másica de agua, Y5 fracción másica de aceite y Y6 índice de estabilidad.

2. Desarrollo de un programa de simulación que representa las variables de formulación del fluido de emulsión inversa.

A través de programa SIMNET II, se efectuó la simulación de datos considerando los rangos determinados a partir de diversas fuentes de referencia. En la figura 2 se muestra el programa para la generación de los datos de entrada X4 %agua. (véase figura 2).



```

DOSBox 0.74-3, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program:
End of File ALT-Run
End of File Line 13 Col 33 33 Size 13      ■ C:\YAMILET
$PROJECT:CURS0;28/02/25\NAMI:
$DIMENSION:ENTITY(100);A(1):
$ATTRIBUTES:ENTRA:
$BEGIN,MSGOFF:

01      *S:5;/LIM=200:
        *B:A1;ENTRA=NO(2.63,1.53,50)%:
A1      *A:15:
        *B:TERM.:WRITE(25)=(ENTRA)%:

$END:
$STOP:

```

Figura 2 Programa de simulación SIMNET II para las variables de entrada X4 %agua

3. Creación de una base de datos, que incluye la secuenciación y las variables de salida.

Para este estudio se generaron 200 datos por cada variable de entrada, los cuales pasaron por un filtro de optimalidad obteniendo finalmente una base de datos de 45 datos por variable una parte de los cuales se presentan en seguida. (véase figura 3)

Densidad (X1)	% solidos (X2)	% aceite (X3)	% agua (X4)	Viscosidad (X5)	Gel 0 (X6)	Gel 10 (X7)	Salinidad originalidad (X8)
1.12387	0.08984014	0.5965366	0.1340084	51.17143	5	26.06809	5979.8
1.201221	0.1228639	0.6362886	0.1535603	56.7522	7	79.80101	194144.5
1.227723	0.1336915	0.6498904	0.1605727	58.58197	7	20.52498	196085.6
1.002478	0.03312793	0.5339777	0.1060615	41.58751	3	17.20166	201034.2
1.250329	0.142744	0.6614853	0.1666806	60.11178	8	40.16736	217464.3
1.227615	0.1336479	0.6498351	0.1605438	58.57461	7	22.97842	176646.5
1.222448	0.1315553	0.6471841	0.1591643	58.22097	7	79.86767	217150.4
1.333016	0.1745165	0.7038428	0.1900164	65.48109	12	57.29312	205741.1
1.061279	0.06140848	0.5643077	0.1191817	46.3667	3	18.42518	208925.3
1.160123	0.1055916	0.6151775	0.1430024	53.8333	6	17.91311	176490.5
1.208398	0.1258199	0.6399735	0.1554437	57.25174	7	24.7789	178769.4
1.06651	0.06384817	0.5670035	0.1203869	46.77899	4	34.03007	178598.7
1.431744	0.2099665	0.754312	0.2199295	71.47185	17	77.05722	175184.6
1.170102	0.1098415	0.6203061	0.1455309	54.5515	6	18.79856	213596.1

Figura 3 Datos simulados obtenidos con SIMNET II

4. Entrenamiento de la red de neuronas por objetivo definido.

En función de las variables de entrada se realizó el cálculo de las variables de salida. Con el propósito de facilitar la interpretación del modelo, se establecieron rangos cualitativos de desempeño para cada una de las variables de salida (Y1 – Y6) del fluido de emulsión inversa.

Estos rangos se calificaron en cuatro niveles: Excelente, Bueno, Regular y Malo, de acuerdo con los criterios técnicos reportados en la literatura y la distribución de los datos obtenidos en el presente estudio. Para las variables Y1 (Relación agua/aceite), Y4 (Fracción másica de agua) y Y5 (Fracción másica de aceite), los intervalos se definieron considerando las proporciones típicas de emisiones inversas reportadas por (Błaż et al., 2021). La variable Y3 (salinidad relativa) se basó en la concentración promedio de CaCl_2 según (Dearing y Flak, 2007). En cuanto a las variables Y2 (SCI índice de compactación) y Y6 (índice de estabilidad), se aclara que no existen rangos estandarizados en la bibliografía, por lo que los valores cualitativos fueron definidos en este trabajo, tomando como referencia la distribución estadística de la base de datos simulada y los criterios de estabilidad propuestos por la API (American Petroleum Institute). (véase tabla 2).

Tabla 11 Definición de los valores para la calidad del fluido E.I.

Nivel de calidad					
Variable	Unidad	Excelente	Bueno	Regular	Malo
Y1	Adimensional	≤ 0.20	0.21 – 0.30	0.31 – 0.40	> 0.40
Y2	Adimensional	≤ 0.0015	0.0016 – 0.0020	0.0021 – 0.0025	> 0.0025
Y3	Escala relativa (respecto a 300,000 ppm)	≥ 0.90	0.75 – 0.89	0.50 – 0.74	< 0.50
Y4	fracción 0 - 1	≤ 0.20	0.21 – 0.30	0.31 – 0.35	> 0.35
Y5	fracción 0 - 1	≤ 0.80	0.70 – 0.79	0.65 – 0.69	< 0.65
Y6	Adimensional	≥ 0.08	0.04 – 0.07	0.00 – 0.03	< 0.00

Mediante el programa de Matlab®, se realizaron las diferentes arquitecturas de RNA (redes neuronales artificiales), para poder determinar la mejor arquitectura posible que represente el modelo de la red.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos del proceso de entrenamiento de la red neuronal para cada una de las seis variables de salida consideradas (Y1 – Y6). La arquitectura optima

seleccionada consta de 8 variables de entrada, 3 neuronas en la capa oculta y 1 neurona en la capa de salida, generando un modelo con una sola salida por red. (véase tabla 3).

Tabla 12 Entrenamiento de la red neuronal.

Variable Y	Network Architecture				Train Network					
	Input	Hidden layer	Output Layer	Out put	Training		Validation		Testing	
					MSE	R	MSE	R	MSE	R
Y1	8	3	1	1	1.09821e-11	9.99999e-1	2.28651e-6	9.99830e-1	3.94067e-7	9.99941e-1
Y2	8	3	1	1	2.02046e-10	9.99913e-1	6.22533e-10	9.99922e-1	1.20108e-9	9.99761e-1
Y3	8	3	1	1	1615.82958e-0	9.99999e-1	10633.52524e-0	9.99999e-1	6687335.0415e-0	9.99988e-1
Y4	8	3	1	1	1.11802e-9	9.99999e-1	2.66434e-9	9.99999e-1	8.77121e-8	9.99999e-1
Y5	8	3	1	1	5.02512e-23	9.99999e-1	1.36472e-11	9.99999e-1	1.21956e-13	9.99999e-1
Y6	8	3	1	1	3.39030e-5	9.97581e-1	2.18703e-5	9.98320e-1	1.94522e-5	9.89626e-1

Durante la fase de entrenamiento, se utilizaron tres subconjuntos de datos: entrenamiento (75%), validación (15%) y prueba (15%). Para cada variable, se reportan los valores del Error Cuadrático Medio (MSE) y el coeficiente de correlación (R), que permiten evaluar la precisión del modelo en cada etapa. Los datos de validación desempeñan un papel clave al permitir el ajuste de los hiperparámetros y la detección de posibles casos de sobreajuste. Asimismo, facilitan la evaluación de la capacidad del modelo para generalizar correctamente ante nuevos datos, lo que hace posible realizar ajustes estructurales o paramétricos que mejoren su precisión y eviten sesgos.

Los resultados indican un desempeño sobresaliente, con valores de R cercanos a 1 y MSE extremadamente bajos, lo que evidencia una excelente correlación entre los valores predichos y los experimentales. En particular, las variables Y1, Y2, Y4 y Y5 presentaron valores de R superiores a 0.9999 en todas las fases, confirmando la robustez y generalización del modelo. Esto demuestra que la red neuronal desarrollada logra predecir con gran exactitud las propiedades del fluido de emulsión inversa, manteniendo una alta estabilidad y mínima desviación entre los conjuntos de datos de entrenamiento, validación y prueba.

Estos resultados validan la efectividad de la arquitectura seleccionada (8-3-1) y la idoneidad del algoritmo de entrenamiento empleado, permitiendo constatar que la red neuronal desarrollada reproduce con alto nivel de exactitud el comportamiento de las propiedades del fluido de E.I.

5. Validación del modelo de predicción

En esta última etapa se realiza la comparación entre los datos entrenados por la red de neuronas y los datos obtenidos con la simulación de SIMNET II en la base de datos. Como se puede observar en la figura que se presenta a continuación los resultados muestran una alta correlación para todas las variables Y's. (véase figura 4).

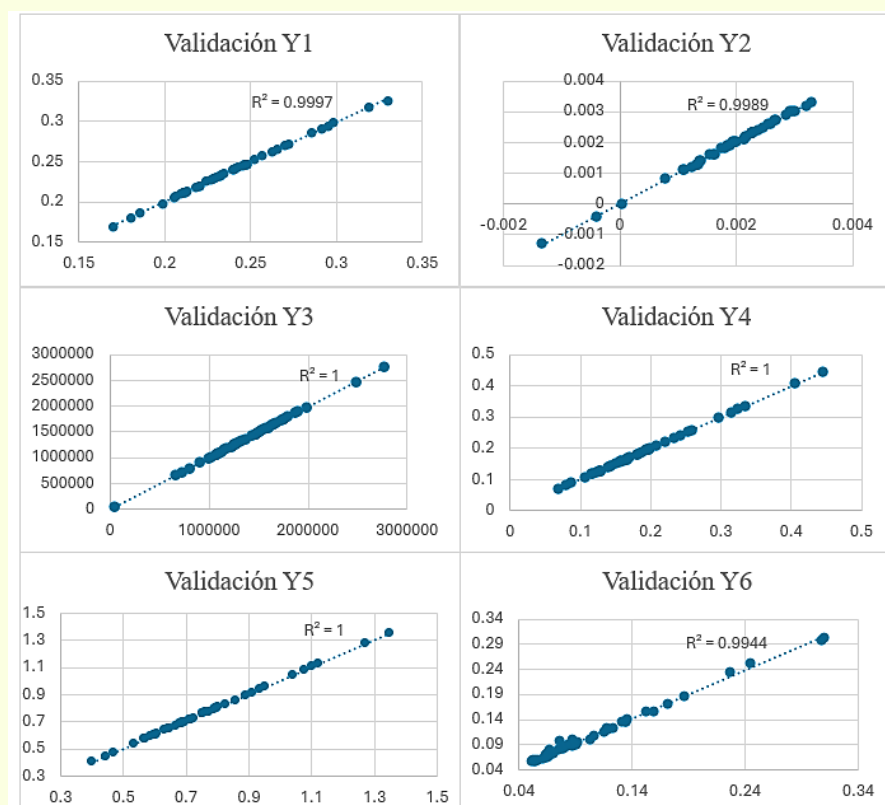


Figura 4 Resultados de validación del modelo de red neuronal para las variables de salida Y1 – Y6.

En todas las gráficas, se observa una alineación con elevados coeficientes de determinación (R^2), los cuales alcanzan valores de $0.9997 \leq R^2 \leq 1.0$.

RESULTADOS

Después de un análisis del estado del arte se pudieron determinar aquellas variables que son clave para el análisis del fluido E.I.

Se desarrolló de un programa de simulación que representa las variables de formulación del fluido E.I.

A través de la simulación con SIMNET II fue posible generar una base de datos con 8 entradas y a su vez calcular 6 salidas (Y1 – Y6)

Con la base de datos fue posible crear 6 redes neuronales y hacer la validación del modelo de predicción.

CONCLUSIONES

El modelo de red neuronal artificial desarrollado en este estudio demostró ser una herramienta altamente precisa y confiable para la predicción del comportamiento del fluido de E.I. Los resultados mostraron coeficientes de correlación superiores a $R^2=0.9997$ y MSE prácticamente nulos, lo que confirma la efectividad y estabilidad del modelo.

La arquitectura óptima seleccionada (8-3-1) logró reproducir con exactitud las propiedades críticas del fluido.

Durante la fase de validación se emplearon datos independientes a los utilizados en el entrenamiento, con el fin de ajustar los hiperparámetros del modelo, prevenir el sobreajuste y definir el punto óptimo de detección del aprendizaje. Este procedimiento permitió evaluar la capacidad de generalización del modelo y realizar modificaciones en su arquitectura o en sus parámetros asegurando un desempeño robusto, confiable y libre de sesgos.

El uso combinado de SIMNET II y MATLAB® permitió establecer una metodología reproducible y eficiente para el diseño y validación del modelo, reduciendo la necesidad de ensayos experimentales. Este enfoque confirma que las redes neuronales artificiales son una herramienta confiable para la optimización y control predictivos de fluidos de perforación, en este caso específico del fluido de E.I, reduciendo la necesidad de ensayos experimentales extensos y costosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcorta-García, M. A. (2023). Impacto del control automático e inteligencia artificial. *Revista CienciaUANL*, 22(96), 27–34. <https://cienciauanl.uanl.mx/ojs/index.php/revista/article/view/102>
- Alsabaa, A., Gamal, H., Elkatatny, S., & Abdurhaheem, A. (2020). Real-Time Prediction of Rheological Properties of Invert Emulsion Mud Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Sensors* 2020, Vol. 20, Page 1669, 20(6), 1669. <https://doi.org/10.3390/S20061669>
- Alsabagh, A. M., Abulnasr, A. A., Nooh, A. Z., El-Tabey, A. E., & El-Safty, M. A. (2020). Enhancing Oil Based Drilling Fluids Parameters Using Secondary Synthetized Emulsifiers and Nanoparticles. *Egypt. J. Chem*, 63(10), 4119–4129. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2020.22757.2355>
- Błaż, S., Zima, G., Jasiński, B., & Kremieniewski, M. (2021). Invert drilling fluids with high internal phase content. *Energies*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/en14154532>
- Ferreira, D. S., Santos, L. C. L. dos, Santana, S. S., Simonelli, G., & Pereira, K. R. de O. (2025). Predictive modeling of Demulsification Efficiency in Brazilian Crude Oil. *Revista de Gestão e Secretariado*, 16(5), e4878. <https://doi.org/10.7769/GESEC.V16I5.4878>
- Kang, W. L., Zhou, B. B., Issakhov, M., & Gabdullin, M. (2022). Advances in enhanced oil recovery technologies for low permeability reservoirs. *Petroleum Science*, 19(4), 1622–1640. <https://doi.org/10.1016/J.PETSCI.2022.06.010>
- Kubra, K., Nambyaruveettil, S., Suliman, M., Maqsood, H., Waseem, M., Alraeesi, H., Husain, A., & Mozumder, M. S. (2025). AI-driven modelling and experimental analysis of oil concentration impact on mayonnaise rheology for innovative food design. *Journal of Food Engineering*, 112814. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2025.112814>
- Li, K., Ovsepian, M., Xie, W., Varfolomeev, M. A., Luo, Q., & Yuan, C. (2024). Emulsions for enhanced oil recovery: Progress and prospect. *Journal of Molecular Liquids*, 393, 123658. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2023.123658>
- Tian, Y., Zhou, J., He, C., He, L., Li, X., & Sui, H. (2022). The Formation, Stabilization and Separation of Oil–Water Emulsions: A Review. *Processes* 2022, Vol. 10, Page 738, 10(4), 738. <https://doi.org/10.3390/PR10040738>

