

UNACAR®
Universidad Autónoma del Carmen
"Por la Grandeza de México"

Acalán
Revista de la Universidad Autónoma del Carmen

Enero- Junio
2026

Número 122

ISSN 2594 1658



Portada: **"Cita cabalística"**
Autor: **Nelida Cabrera Eufracio**

"Cita Cabalística", pretende reflejar el interés que tiene el ser humano desde hace siglos por descubrir el origen y la relación que existe entre la vida y la divinidad, basándose de prácticas comunes pero que en su tiempo no eran tan aceptadas por la sociedad, realizando de manera discreta y en espacios cerrados estas reuniones, por lo que los elementos que reúne esta obra, giran en torno al árbol de la vida, siendo los personajes quienes consultan y descifran el misterio de la divinidad que el cábala les ofrece.

Acalán Revista de la Universidad Autónoma del Carmen No. 122, Enero - Junio 2026. Es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma del Carmen, a través de la Dirección General de Extensión Universitaria, por el Departamento de Fomento Editorial, Av. 56 No. 4 Col. Benito Juárez. C.P. 24180 Ciudad del Carmen, Campeche, teléfono 9383811018, www.unacar.mx. Editor responsable LDG. Ana Isabel Polkey Gómez, Reservas de Derechos al Uso Exclusivo 04-2015-042113060500-203. ISSN 2594-1658. Responsable de la última actualización de este número, Coordinación de Tecnologías de la Información y la Comunicación UNACAR, Maestro Raúl Arturo Peralta. Calle 56 número 4, esquina avenida Concordia. Col. Benito Juárez. C.P. 24180. Ciudad del Carmen, Campeche. Fecha de última modificación, 23 de octubre del 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma del Carmen.

Directorio

Dra. Sandra Martha Laffon Leal
Rectora

Lic. Javier Zamora Hernández
Secretario General

Dr. Fernando Enrique Sánchez Martínez
Secretario Académico

Mtro. Joel Adir Acuña Gálvez
Director General de Extensión Universitaria

Mtra. Yuridia Raquel Velasco Sosa
Directora de Difusión Cultural

LDG. Ana Isabel Polkey Gómez
apolkey@delfin.unacar.mx
Jefa de Fomento Editorial
Editor responsable
Diagramación

Comité Editorial

Dr. Ricardo Armando Barrera Cámara
Facultad de Ciencias de la Información

Dr. Rafael Ferrer Méndez
Facultad de Ciencias Educativas

Dra. Myrna Delfina López Noriega
Facultad de Ciencias Económicas Administrativas

Dra. Lucely Maas Góngora
Facultad de Ciencias de la Salud

Dr. Carlos Montalvo Romero
Facultad de Química

Dr. Leonardo Palemón Arcos
Facultad de Ingeniería

Representantes Invitados

Dra. Ana Alberta Canepa Saénz
Facultad de Ciencias de la Información

Dra. Angélica Gabriela Vital Ocampo
Facultad de Química

Autor de portada



Nelida Cabrera Eufracio es licenciada en Comunicación y Gestión Cultural, artista plástica y maestrante en Comunicación y Estudios de la Cultura. Nacida en Villahermosa, Tabasco, reside en Ciudad del Carmen, Campeche, donde desarrolla su labor artística, académica y cultural.

Su formación incluye cursos y diplomados en historia del arte, arte e inconsciente e inclusión educativa, así como talleres de pintura, investigación y creación artística, xilografía, grabado, papel tridimensional y escultura en arena. Domina diversas técnicas, entre ellas acrílico, óleo, cartonería, grabado y mosaiquismo; además, maneja programas de edición de imagen, video y audio, y herramientas de inteligencia artificial aplicadas a la animación, la investigación y el posicionamiento.

Ha participado en exposiciones colectivas en México y otros países, con muestras destacadas como *Mujeres en el arte, Mil artistas Visuales de México* y homenajes a Leonora Carrington. También ha colaborado en proyectos universitarios y comunitarios, entre ellos la FELILE, el Faro de la Lectura y la Orquesta Comunitaria Carmelita. Actualmente coordina el colectivo de artes visuales Cliché.

En el ámbito académico, presentó la ponencia "Interculturalidad México-Colombia mediante recursos transmedia" y ha impartido talleres de dibujo, pintura y animación de cuentos con inteligencia artificial. Desde 2023 es instructora del Taller de Pintura de la Dirección de Difusión Cultural, labor con la que promueve la creatividad y la formación artística.

Contenido

7.- Aprendizaje de vocabulario con películas subtituladas

Barragán Godoy María José
Ferrer Méndez Rafael

16.- Herramienta computacional para determinar el tipo de cementación en pozos exploratorios

Vital Ocampo Angélica Gabriela
Berzunza Rosado Berzabeth
Montoya Hernández Daniel Jesús
Solana Neri Fernando del Jesús

23.- Importancia trófica del cocodrilo mexicano (*Crocodylus moreletii*) en ecosistemas costeros

Olivares Cajiga Dalila Emily
Pérez Aldana Sergio Yahir
Telumbre Terrero Juan Yovani

29.- Diseño Conceptual de una plataforma *Open Source* con inteligencia artificial para ventas en pequeños negocios

Saldivar Yerbes Sergio Manuel
Ramírez Pulido Juan Ramón
Pérez Rejón José Ángel

37.- ¿Quién responde por los daños causados por la IA?

Palmer Perales Ana Karen
Toledo Vázquez Daniel
Telumbre Terrero Juan Yovani

44.- SIPRIDE: Sistema Predictivo de Riesgo de Deserción Estudiantil con Aprendizaje Automático en Ingeniería UNACAR

González Uc Delio Humberto
Pérez Ramírez Agustín
Orbe Trujillo Eduardo
García Hernández Ramón

54.- Trayecto IA: propuesta de sistema *web* con inteligencia artificial para la gestión universitaria y MCP

May Mayo Efraín
Herrera Sánchez Beatriz
Pérez Rejón José Ángel

Editorial

Investigar comienza muchas veces con algo sencillo: observar lo que sucede a nuestro alrededor, hacernos preguntas y sentir curiosidad por encontrar respuestas. En la universidad, esa inquietud se convierte en una oportunidad para comprender mejor la realidad, proponer soluciones y compartir conocimientos que puedan ser útiles para otras personas. Cada investigación, desde su propio campo de estudio, aporta una manera distinta de mirar los problemas y de encontrar nuevas posibilidades.

Los trabajos que reúne esta edición son una muestra de esa diversidad. Aunque abordan temas muy distintos, todos parten de una inquietud común: encontrar alternativas para aprender, resolver problemas y mejorar lo que hacemos. En el ámbito educativo, el aprendizaje de vocabulario mediante películas subtituladas explora cómo el cine puede convertirse en un recurso para aprender idiomas de una manera más dinámica y cercana. Por su parte, propuestas como SIPRIDE, enfocado en predecir el riesgo de deserción estudiantil en Ingeniería de la Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), y Trayecto IA, un sistema *web* con inteligencia artificial para la gestión universitaria y MCP, plantean nuevas formas de aprovechar la tecnología para atender necesidades educativas y fortalecer los procesos institucionales.

La tecnología también ofrece oportunidades para impulsar el desarrollo económico y facilitar el trabajo cotidiano. El diseño de una plataforma de código abierto con inteligencia artificial para apoyar las ventas en pequeños negocios propone herramientas digitales al alcance de quienes buscan mejorar sus actividades comerciales. En otro ámbito, una herramienta computacional para determinar el tipo de cementación en pozos exploratorios muestra cómo los recursos tecnológicos pueden ayudar a interpretar información especializada y aportar elementos para tomar decisiones en el sector industrial.

Sin embargo, no todas las respuestas se encuentran en las herramientas digitales. También es necesario observar y comprender el entorno natural del que formamos parte. El estudio de la función del cocodrilo mexicano (*Crocodylus moreletii*) en las redes alimentarias de los ecosistemas costeros permite acercarnos a las relaciones que sostienen la vida en estos espacios. Conocer el papel de una especie dentro de su ecosistema nos ayuda a reconocer que la biodiversidad no es un conjunto de elementos aislados, sino una red de relaciones cuyo equilibrio merece nuestra atención y cuidado.

A medida que la inteligencia artificial gana presencia en distintos ámbitos, surgen también preguntas que no podemos dejar de lado. ¿Quién debe asumir la responsabilidad cuando una decisión automatizada ocasiona un daño? ¿Cómo podemos asegurarnos de que estas herramientas se utilicen de manera justa? Reflexionar sobre estos temas es tan importante como desarrollar nuevas aplicaciones, pues el verdadero valor de la innovación no depende únicamente de lo que la tecnología puede hacer, sino también de cómo decidimos utilizarla y de las consecuencias que tiene para la sociedad.

Los trabajos presentados en esta edición nos recuerdan que investigar no es una actividad aislada de la vida cotidiana. Sus resultados pueden contribuir a mejorar el aprendizaje, apoyar a los pequeños negocios, fortalecer la gestión universitaria, resolver desafíos industriales y ampliar nuestra comprensión del medioambiente. En todos estos campos, el conocimiento adquiere sentido cuando logra vincularse con las necesidades de las personas y ofrece posibilidades para actuar sobre la realidad.

Desde la Universidad Autónoma del Carmen, impulsar la investigación significa abrir espacios para la curiosidad, el pensamiento crítico y la creatividad. También significa reconocer el esfuerzo de quienes dedican tiempo a formular preguntas, explorar caminos y compartir sus hallazgos. Porque investigar no consiste solamente en encontrar respuestas; implica mantener viva la disposición de aprender, cuestionar lo establecido y buscar nuevas maneras de contribuir al desarrollo de nuestra comunidad.

Aprendizaje de vocabulario con películas subtituladas

Barragán Godoy María José[1]
Ferrer Méndez Rafael[2]

Resumen

El repertorio de vocabulario que maneja un hablante de un idioma es fundamental para la comprensión y producción del mismo. Aquí se reportan los resultados obtenidos de un estudio enfocado en el aprendizaje de vocabulario del inglés a través del uso de películas de comedia subtituladas. El objetivo general consistió en evaluar cómo el uso de este tipo de películas contribuye a la memorización del aprendizaje del vocabulario diario. Se utilizó un diseño pre-post test, con un enfoque cuantitativo. Los participantes fueron alumnos del primer semestre de licenciatura. Los resultados grupales mostraron un incremento en el aprendizaje de vocabulario de 45 a 89 puntos porcentuales de diferencia y una mayor participación en las actividades, cambio de conducta y actitud, y confianza en el aprendizaje. Así, se valida la efectividad del aprendizaje de vocabulario a partir del uso de películas subtituladas.

ABSTRACT

Vocabulary repertoire used by a speaker of a language is essential to such language understanding and production. We report the results of a study focused on learning English vocabulary with the use of subtitle comedy films. The objective was to evaluate how the use of this type of film contributes to the memorization of daily vocabulary learning.
We used a pre-post test with a quantitative approach. The participants were students from first semester. The group results showed an increase in vocabulary learning from 45 to 89 percent points and an increased participation in activities, behavior and attitude change, and confidence learning. Thus, we validated the effectiveness of vocabulary learning with subtitled films.

Palabras clave:
Aprendizaje, vocabulario, películas de comedia.

Introducción

El uso de tecnología, en la era digital que, actualmente se vive como sociedad, ha generado una ventaja en el aprendizaje en general. En el caso del aprendizaje de un idioma extranjero, caso del inglés en México, éste se ha visto favorecido con el uso de las herramientas audiovisuales que las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ofrecen. En este artículo se aborda el aprendizaje de vocabulario a partir del uso de películas cómicas subtituladas como un medio para el aprendizaje de palabras y frases de manera interesante y divertida.

La enseñanza del inglés como lengua extranjera (ILE), en la Licenciatura de Lengua Inglesa de la Facultad de Ciencias Educativas de la Universidad Autónoma del Carmen (Unacar) privilegia el uso de un libro de texto, un ambiente formal y el estudio estructurado de los diversos métodos

[1] Egresada de la Licenciatura en Lengua Inglesa de la Facultad de Ciencias Educativas de la Universidad Autónoma del Carmen. [2] Profesor de tiempo completo de la Licenciatura en Lengua Inglesa de la Facultad de Ciencias Educativas de la Universidad Autónoma del Carmen.

de enseñanza-aprendizaje del idioma inglés. Sin embargo, en muchos casos, esta metodología parece no satisfacer las expectativas esperadas por profesores y estudiantes. En especial, en el aprendizaje de vocabulario y frases que sirven para construir un discurso lógico, coordinado, diverso y contextualizado (Correa 2023).

Considerando las circunstancias de aprendizaje del idioma inglés en la Facultad de Ciencias Educativas de la Unacar, se determinó abordar dicha situación y problematizarla para estudiarlala dentro de la investigación que daría sustento a la tesis "*comedy movies with subtitles in English contributes to memorization of daily vocaublary* [Películas de comedia con subtítulos en inglés contribuyen a la memorización de vocabulario cotidiano]". Dentro del planteamiento del problema, se formuló la pregunta de investigación "*How do comedy movies with English subtitles contribute to the memorization of everyday vocabulary by 1st. Semester Unacar students of the English Language Degree 2023-2024?* [¿Cómo las películas con subtítulos en inglés contribuyen a la memorización de vocabulario cotidiano en alumnos de primer semestre de la Unacar de la Licenciatura de Lengua Inglesa durante el periodo 2023-2024?]" El objetivo general que se estableció fue evaluar el uso de las películas de comedia para la memorización efectiva de vocabulario cotidiano en inglés.

La justificación de la investigación se sustentó a partir de la necesidad de cambiar la actitud de fastidio, poca participación y desánimo de los estudiantes de la licenciatura. Además, se consideró que éstos deben abordar contenidos especializados en el idioma inglés, así como utilizar dicho idioma como instrumento de comunicación para las actividades de sus cursos. Por esta razón, el dominio de vocabulario cotidiano o común es de vital importancia para los estudiantes.

Con la implementación de la estrategia didáctica del uso de películas de comedia, se estableció darle un enfoque lúdico, entretenido y activo al aprendizaje de vocabulario. También, se intentó que los estudiantes vieran un recurso valioso para su aprendizaje en un elemento de entretenimiento que, además, tienen a su disposición no solo en el aula, sino en sus entornos familiares y sociales.

Una vez establecida la necesidad del aprendizaje de vocabulario, definido el medio de enseñanza y seleccionada la metodología, se determinaron los fundamentos teóricos para sustentar la investigación. Para esto, se consideraron los estudios más recientes que trataban el tema de esta investigación. Considerando para este reporte las aportaciones de los autores identificados, a continuación, en este apartado.

La literatura ha demostrado que el aprendizaje se internaliza cuando éste se da en una atmósfera relajada y enriquecida con aprendizajes significativos o de manera lúdica (Biasutto et al., 2006; Saxena et al., 2008; Hsieh et al., 2010). Por esta razón, incorporar el uso de películas con subtítulos en inglés en una estrategia de aprendizaje proporcionará este elemento en la clase de inglés de los estudiantes de Licenciatura en Lengua Inglesa de la Facultad de Ciencias Educativas de la Universidad Autónoma del Carmen. Además, permitió evaluar la aplicación de esta estrategia y registrar el desarrollo de la misma.

En este artículo, se considera que una película cómica es un drama producido para entretener y provocar disfrute a través de la exageración de situaciones, el lenguaje, la actuación y los personajes (Allen y Smith, 1997, p. 108). Con esta definición se constata el valor lúdico que el uso de este género imprimiría en la clase de inglés. Pero, el uso de la película por sí sola, no necesariamente, implicaría un proceso de aprendizaje, pues el estudiante de lengua podría enfocarse más en la trama de la película u otro aspecto de la misma que en el aprendizaje del vocabulario utilizado, para esto es que se les dirigió a utilizar los subtítulos en inglés. De esta forma, escucharían y aprenderían el vocabulario utilizado en la película.

En lo que respecta a los subtítulos Shuttleworth y Cowie (1997, como se citó en Khalaf, 2016) lo definen como el proceso de colocar los subtítulos de los diálogos de películas y de los programas de televisión. Esta conceptualización deja ver que el receptor recibe la emisión auditiva y lee al mismo tiempo la transcripción escrita del mismo. Estos subtítulos pueden ser en el idioma original del producto que se consume o la traducción a otro idioma. Para efectos de aprendizaje del idioma inglés, se pueden utilizar ambas formas, dependiendo el objetivo de aprendizaje.

La adquisición de conocimientos puede percibirse como algo fácil o complicado dependiendo el sentir del estudiante o la manera en que se aborda dicho proceso. Por lo general, este se concibe como aquel que únicamente ocurre en el salón de clases, en la escuela o dirigido por un profesor. No obstante, el aprendizaje ocurre todo el tiempo y en una diversidad de escenarios. Para Wenden (1987) "las estrategias de aprendizaje son las distintas operaciones que un estudiante utiliza para aprender" (p.7-8). A partir

de esto, se dice que los estudiantes utilizarán sus propias estrategias y las indicadas por el profesor para apropiarse de un nuevo saber.

Por lo anterior, el aprendizaje es la adquisición de conocimiento que se acumula gradualmente a partir de diversas experiencias, situaciones o hechos, permitiendo el desarrollo habilidades y competencias en el ser humano. En este sentido, Chiesa (1992) indica que dicho fenómeno actúa como un mecanismo que incide en el comportamiento del individuo, generando un efecto o cambio de conducta. De esta forma, esta evaluación cognitiva es dinámica y depende directamente de la información o actividad a la que se someta el estudiante.

En la enseñanza del inglés, gracias al uso de las TIC, se accede a diversos ambientes de aprendizaje. Uno de estos es el uso de material audiovisual, en esta estrategia didáctica, el uso de películas cómicas para el aprendizaje de vocabulario. Biasutto et al. (2006) afirman que los materiales audiovisuales facilitan la enseñanza. De esta manera, los docentes utilizan este recurso en grupos numerosos debido a que estos favorecen la audición y el aprendizaje de todos los estudiantes (Biasutto et al., 2006; Saxena et al., 2008).

Una estrategia de enseñanza efectiva consiste en integrar el uso de materiales audiovisuales dentro de un esquema didáctico basado en proyectos. Estas metodologías han demostrado su eficacia en el desarrollo de habilidades y competencias lingüísticas, así como comunicativas, durante la formación en lengua inglesa (Ferrer-Méndez et al., 2025). Por lo tanto, el empleo de filmes subtitulados, como técnica de instrucción activa, puede incidir positivamente en la adquisición o internalización de léxico en inglés.Como ha quedado de manifiesto, el empleo de filmes subtítulados para el aprendizaje de idiomas es una estrategia recurrida por los docentes. A continuación, se mencionan algunos estudios relevantes en este tema y que refuerzan los fundamentos teóricos de esta investigación, además de considerarlos como antecedentes para la misma.

Entre los estudios encontrados y que tienen el empleo de películas con fines académicos está el de Geogarkopoulou (2000) señalando al género de película de comedia como muy popular y con un gran número de audiencia. Además, la considera como positiva y divertida. De aquí se desprende que utilizar este tipo de películas en el aula imprimirá este sentido al proceso de enseñanza aprendizaje y a la clase en general.
En un estudio realizado por Hsieh et al., (2010) sobre el impacto de utilizar películas con subtítulos identificaron que género de películas con subtítulo disfrutan los estudiantes. Además, estudiaron que tan indispensable eran los subtítulos para un aprendizaje efectivo. Estos autores concluyeron que el 95% de los estudiantes participantes preferían el cine de comedia para aprender un idioma por ser entretenido y divertido. Sin embargo, destacaron que el profesor es fundamental para el proceso de aprendizaje.

Por su parte, Suetrong (2015) investigó la actitud de los estudiantes de inglés al utilizar películas subtituladas en thai e inglés para mejorar la comprensión auditiva. Al final, concluyó que por lo menos el 68% de los estudiantes preferían ver películas con subtítulos en inglés para mejorar el aprendizaje de vocabulario.

En lo que respecta al aprendizaje de vocabulario, Wilkins (1972) destaca la importancia de éste para la transmisión o materialización de lo que se desea expresar. De igual forma, Pérez-Gómez (2020) evaluó cómo el uso de los subtítulos, como herramienta para adquirir vocabulario en inglés, promueve la independencia de estudiantes. En su estudio concluyó que los estudiantes expandían su vocabulario a la vez que expandían su curiosidad y auto aprendizaje de vocabulario.

En México, Arias (2022) estudió el uso de subtitulaje en inglés para la adquisición de vocabulario. Analizó y promovió las ventajas del uso de subtítulos para la adquisición de vocabulario e indicó que el 78% de la población consideró el subtitulaje como una fuente fundamental de aprendizaje, en especial, para la memorización de vocabulario.

A nivel local, May-Meléndez at al., (2023) realizaron un estudio, a partir de una estrategia didáctica, sobre el uso de *Youtube* para complementar la preparación para el examen *International English Language Testing System* (IELTS). En este estudio, los autores concluyeron que el uso de Youtube mejora las habilidades auditivas, incrementa el puntaje obtenido en dicho examen, así como la confianza en su propio aprendizaje.

Los antecedentes teóricos utilizados para sustentar la investigación permitieron delimitar que aspectos considerar en la recolección y análisis de la información. Para este artículo, se seleccionaron, solo aquellos que se enfocaban en el uso de las películas y el aprendizaje de vocabulario. Además, se trató de identificar la efectividad del uso de las películas de comedia subtituladas en el aprendizaje de vocabulario, determinar el grado de aprovechamiento o aprendizaje de vocabulario

aprendido a partir del uso de las películas de comedia subtituladas y concluir sobre las formas en que el uso de este tipo de películas contribuye en al aprendizaje de vocabulario diario.

Métodos

El enfoque utilizado en este estudio fue el cuantitativo y se optó por un diseño no experimental, pues se establecieron las relaciones entre las variables del tema investigado desde una perspectiva estadística haciendo uso de la estadística descriptiva. Se optó por este enfoque por considerar los aciertos de los alumnos participantes y por las condiciones en las que se llevó la estrategia didáctica en respuesta a las políticas y necesidades de la institución. De acuerdo con Hernández et al., (2010) "mientras que el enfoque cuantitativo estudia realidades y hechos de un objetivo natural; el enfoque cualitativo estudia realidades o fenómenos cuya naturaleza es subjetiva" (p. 10).

Uno de los propósitos que se estableció al utilizar el enfoque cuantitativo fue identificar las causas o hechos que existen en el grupo de estudio. De esta manera, los datos obtenidos se analizaron desde su conversión numérica y, a partir de cómo el uso de las películas cómicas contribuyó al aprendizaje de vocabulario de uso diario. Por esta razón, se enfoca en determinar el desempeño cuantitativo de los estudiantes en relación con sus aciertos y mejora de resultados sobre este principio.

El tipo de investigación que se utilizó fue el exploratorio debido a la flexibilidad del diseño al ser abierta y general y el diseño de la misma fue de pre-post test (Hernández et al., 2010). De esta manera, se identificó la efectividad de la enseñanza a partir de herramientas lúdicas, como es el caso de las películas de comedia, en el aprendizaje del idioma inglés a la vez que se recopilaban los datos para sustentar esta investigación.

Para este estudio, se consideró a los estudiantes de primer semestre, siendo un total de 52 alumnos, de 18 a 20 años de edad de la Licenciatura de Lengua Inglesa de la Facultad de Ciencias Educativas de la Universidad Autónoma del Carmen. Por otra parte, su participación fue a través de una invitación y se les garantizó su anonimato, por lo que colaboraron de manera libre y voluntaria. Estos estudiantes ingresan a la licenciatura como *false beginners* o estudiantes con un nivel de inglés A-O de acuerdo con el Marco Común Europeo de Referencia (MCER).
A los participantes, también, se les pidió su consentimiento para utilizar sus datos desde una perspectiva estadística y soporte a la investigación. También se les indicó seguir su instrucción de acuerdo a sus intereses académicos y desarrollo natural de su curso. Por esta razón, el número total de estudiantes varió constantemente entre un pre-test y otro, así como entre un post-test y otro. Finalmente, el número máximo de participantes fue de 21 y, se finalizó con un mínimo de 6, lo cual equivalía a igual número de respuesta esperadas por ítem. Esta selección natural de los participantes, impacta en la cantidad de respuestas obtenidas, no obstante, da validez al estudio en el sentido que muestra la conducta de un grupo real, sin ningún tipo de manipulación o adecuación sin propósitos de conseguir un resultado predeterminado.

Para la recolección de los datos se utilizó un pre-test y un post-test. El pre-test consistió de una lista de palabra que debían responder con la traducción o el equivalente en español de dicha palabra, sin uso del diccionario o traductor, en un tiempo de 10 a 15 minutos. En una segunda etapa, debían responder un ejercicio de completación y verificar sus respuestas. Finalmente, el post-test tenía la finalidad de evaluar el aprendizaje o memorización de las palabras objetivos de la película vista durante las actividades de la estrategia didáctica a través de escribir el equivalente en español de la palabra dada. La validez de este instrumento estriba en que fue modificado y adaptado de un instrumento aplicado por Brown en 2010 para evaluar a 80 estudiantes de recién ingreso a una universidad de Japón. Además, la versión aplicada a la muestra mencionada en esta investigación fue revisada por un profesor especializado en metodología de investigación y se piloteó con un grupo no participante.

Como parte de la investigación, la intervención didáctica consistió en ver un clip por semana de la película *Mean Girls y Big Hero 6* durante seis semanas, sin embargo, para efectos de este artículo, solo se reportan los resultados de tres semanas. Las actividades consistían en monitorear el vocabulario a través del post-test, ver el clip de la película correspondiente a esa semana y, posteriormente, responder el post-test. Ambos tests estaban enfocado en verificar el aprendizaje del vocabulario de uso común o diario y los participantes debían completar el test con la traducción o el equivalente en español de las palabras dadas en cada uno de los instrumentos.

En este artículo, se presenta una parte de los resultados obtenidos en la investigación total que se reportó a través del trabajo y defensa de la tesis "*Comedy movies with subtitles in English contributes to memorización of daily vocabulary*"

realizada por María José Barragán Godoy. Trabajo entregado en la Facultad de Ciencias Educativas en el área de Lengua Inglesa de la Universidad Autónoma del Carmen. Por otra parte, este artículo está escrito a partir de los resultados reportados, no es la transcripción de una sección de la tesis, sino, una versión escrita a partir de dichos resultados y la información manejada en dicha tesis.

Resultados y Discusión

Los resultados presentados a continuación fueron tomados de la tesis mencionada en este artículo. De estos, se tomaron aquellos obtenidos durante tres semanas y se detallan de manera descriptiva. Primero, se tienen aquellos resultados registrados en los pre-post tests, de éstos, se hace un comparativo entre los test y de manera individual por los participantes y de manera grupal. Posteriormente, se hace una discusión de los mismos resultados y una racionalización del por qué se tuvo esa tendencia de participación.

Cada semana consistía de un pre-test, una estrategia didáctica mediante el uso de una película subtitulada y un post-test para verificar el grado de aprendizaje o aprovechamiento de los sujetos. Aunque el número de alumnos, que presentaban el pre-test y el post test, en las tres semanas que se presentan en este artículo, no se mantuvo homogéneo si se puede apreciar un incremento en el grado de aciertos obtenidos en general.

Para efectos de considerar una respuesta correcta, se tomó en cuenta que el participante respondiera la equivalencia o traducción que escuchó en la película. Por lo que, si el participante dejaba en blanco el espacio correspondiente a la respuesta, o si daba una traducción no acorde a la película, se consideraba incorrecta. De esta manera, se podía medir el grado de aprendizaje (memorización) del vocabulario.

En la tabla 1, se puede identificar la diferencia de aciertos obtenidos en cada ítem entre el pre-test y el post-test correspondiente a la semana 1. Debido a que el número de participantes que presentaron el pre-test y el post-test no es el mismo, ya que algunos estudiantes que no se presentaron a la primera sesión, se puede ver que los porcentajes de aciertos por cada ítem aumentaron, no únicamente por razón del número de individuos que lo responden, sino también, por el número de incidencias positivas que responden.

En el caso del ítem 1, en el pre-test, el número de aciertos fue de 90%, mientras que en el post-test, fue de 93%. Esta diferencia no fue significativa, no obstante, si fue en aumento. Los ítems 2, 3, 4, 6 y 11, obtuvieron un 27% de aciertos, en el pre-test, y en el post-test, el ítem 2, obtuvo un 66%; el ítem 3 y 11, un 86%; el 4, un 73% y el 6, 73%. El ítem 5, en el pre-test obtuvo 81% de aciertos, y en el post-test 100%. Esto quiere decir que todos los participantes acertaron su respuesta. El ítem 7, obtuvo 36% de aciertos en el pre-test, mientras que en el post-test fue de 86%. El ítem 8 y 10, en el pre-test tuvo 45% de aciertos y en el post-test un total del 100% de aciertos. Finalmente, el ítem 9, obtuvo un total de 63% de aciertos y en el post-test un total del 100%.

En los resultados de la tabla 1, se aprecia que el incremento en aciertos entre el pre-test al post-test varía en algunos ítems de manera significativa. En el ítem 1 y 5 de manera incipiente con una diferencia de 3 y 19 puntos porcentuales. No obstante, la mayoría de las respuestas se incrementó en el post-test. En general, se puede apreciar que la diferencia grupal fue de 45 a 88 puntos porcentuales, en promedio, de diferencia en incremento.

Tabla 1
Resultados del pre- y post-test de la primera semana

	Pre - test		Post - test		
Ítem	Aciertos	Porcentaje	Ítem	Aciertos	Porcentaje
1	10	90%	1	14	93%
2	3	27%	2	10	66%
3	3	27%	3	13	86%
4	3	27%	4	11	73%
5	9	81%	5	15	100%
6	3	27%	6	14	73%
7	4	36%	7	13	86%
8	5	45%	8	15	100%
9	7	63%	9	15	100%
10	5	45%	10	15	100%
11	3	27%	11	13	86%
Promedios:	5	45		13	88

Nota: Tabla tomada de la tesis "*Comedy movies with subtitles in English contributes to memorización of daily vocabulary*".

En la segunda semana que se reporta, a partir de la tabla 2, se observa la diferencia entre los aciertos obtenidos en el pre-test y en el post-test de esta semana. Al igual que en la primera semana, el número de participantes que respondieron el pre-y post-test varió. No obstante, la tendencia de respuestas acertadas se mantuvo como en la semana anterior, es decir, el post-test presenta más aciertos que la primera.

En el pre-test, en el ítem 1, el total de aciertos obtenidos fue del 71% y en el post-test esta cifra cambió a 100%. El caso del ítem 2, en el pre-test el total de ítem obtenidos fue de 14% y en el post-test fue de 93%. En el ítem 3, de 76% en el pre-test, pasó a 100% en el post-test. El ítem 4 y 7, obtuvieron 71% cada uno, en el pre-test y en el post-test el ítem

4 obtuvo el 100% de aciertos, mientras que el ítem 7, obtuvo 93%. El ítem 5, obtuvo 80% de aciertos en el pre-test y 100% en el post-test. El ítem 6, tuvo 95% en el pre- y 100% en el post-test. El ítem 8, tuvo 95% de aciertos y el 100% en el post-test. En el ítem 9, en el pre-test, se obtuvo un total de 38% de aciertos y en el post-test 86%. En el ítem 10, se tuvo 85% de aciertos en el pre-test y 93% en el post-test. Finalmente, en el ítem 11, se obtuvo un total del 33% de aciertos en el pre-test y un total del 80% en el post test.

A partir de los aciertos obtenidos en el pre-test y en el post-test, se aprecia un incremento grupal de 29 puntos porcentuales. Aunque en este segundo pre-test la diferencia entre el ítem que menos aciertos obtuvo en el post-test (11 - 80%) y los que más aciertos (1,3,4,5,6,8 – 100%) tuvieron es significativo por la cantidad de ítems con el 100% de aciertos. Un dato a destacar, fue que en este post-test el porcentaje de participantes que obtuvo todos los aciertos por ítems fue mayor, teniendo un total de 6 ítems con el total de aciertos obtenidos. De igual forma, se puede apreciar que los porcentajes de aciertos obtenidos en el pre-test fueron más altos en comparación con el del primero que se reporta como semana 1.

Tabla 2
Resultados del pre- y post-test de la segunda semana.

	Pre-test		Post-test		
Ítem	Aciertos	Porcentaje	Ítem	Aciertos	Porcentaje
1	15	71%	1	15	100%
2	3	14%	2	14	93%
3	16	76%	3	15	100%
4	15	71%	4	15	100%
5	17	80%	5	15	100%
6	20	95%	6	15	100%
7	15	71%	7	14	93%
8	20	95%	8	15	100%
9	8	38%	9	13	86%
10	18	85%	10	14	93%
11	7	33%	11	12	80%
Promedios:	14	66		14	95

Nota: Tabla tomada de la tesis "*Comedy movies with subtitles in English contributes to memorización of daily vocabulary*".

La tabla 3, nos muestra los resultados obtenidos en el pre- y post-test de la semana tres. En esta semana, sucedió lo mismo que con las otras dos semanas reportadas, el número de participantes no se mantuvo homogéneo. Puesto que en el pre-test tuvimos 15 participantes, mientras que en el post-test, únicamente, logramos que lo respondieran 5. En general, se puede apreciar, que los ítems tuvieron una tendencia de obtener más respuestas correctas.
En el pre-test, en el ítem 1, se obtuvo un 80% de aciertos. Para el mismo ítem en el post-test se obtuvo el 100%. En el ítem 2, 9 y 10, se obtuvieron un 53% en el pre-test y en el post-test, para el ítem 2, 83% y para los ítems 9 y 10, 66%. Los ítems 3, 4 y 7 obtuvieron 93% de aciertos en el pre-test y el 100% en el post-test. El ítem 5 tuvo un total de 66% de aciertos en el pre-test y un 100% en el post-test. Los ítems 6 y 8, tuvieron 86% de aciertos en el pre-test y el 100% en el post-test. El ítem 11 obtuvo 46% de aciertos en el pre-test y un 66% en el post-test.

Los resultados del pre-test y del post-test muestran un incremento en la cantidad de aciertos obtenidos por cada ítem. De igual forma, se puede ver que los ítems que menos diferencia tuvieron fueron los ítems 3 y 4, con una diferencia de 7 puntos porcentuales entre el pre- y post-test. En estos resultados que se reportan para esta tercera semana, se puede ver que los participantes, en el pre-test, en su mayoría están por encima de la media.

Tabla 3
Resultados del pre- y post-test de la tercera semana.

	Pre-test		Post-test		
Ítem	Aciertos	Porcentaje	Ítem	Aciertos	Porcentaje
1	12	80%	1	6	100%
2	8	53%	2	5	83%
3	14	93%	3	6	100%
4	14	93%	4	6	100%
5	10	66%	5	6	100%
6	13	86%	6	6	100%
7	14	93%	7	6	100%
8	13	86%	8	6	100%
9	8	53%	9	4	66%
10	8	53%	10	4	66%
11	7	46%	11	4	66%
Promedios:	11	73%		5	89%

Nota: Tabla tomada de la tesis "*Comedy movies with subtitles in English contributes to memorización of daily vocabulary*".

En la tabla 4, se tiene el comparativo del promedio grupal de aprovechamiento de los participantes. En la primera semana, se aprecia que entre el pre-test y el post-test hay una diferencia de 43 puntos. En la semana 2, se tiene una diferencia de 29 puntos, y en la semana 3, la diferencia es de 16 puntos. Como se observa, la diferencia de puntos porcentuales entre el pre-y post-test va disminuyendo porque los puntajes aumentan cada semana de un pre-test a otro. No obstante, si se hace el comparativo entre el promedio obtenido en el primer post-test y el último post-test, presentado aquí, la diferencia oscila de 45 puntos a 89.

Aunque en este artículo se presenta principalmente el aspecto cuantitativo – descriptivo, también, para la tesis se reforzaron con observaciones registradas durante la estrategia didáctica. De estas observaciones, es importante destacar que la participación de los estudiantes fue más activa, demostraron mayor interés y disfrutaron las sesiones en donde se trabajaron con películas. El factor más destacable, fue el hecho que los participantes

Tabla 4
Promedios de aprovechamiento grupal

	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Post-test	88	95	89
Pre-test	45	66	73
Diferencia entre ambos tests	43	29	16

Nota: Elaborada con los promedios porcentuales grupales

mostraron mayor entusiasmo y una actitud más de trabajo o positiva para realizar las actividades.

Como podemos apreciar, los datos muestran los resultados obtenidos por los participantes en este estudio durante tres semanas. Estos datos se tomaron de un pre-test, al inicio de la semana y de un post-test al finalizar dicha semana y pasar por las actividades elaboradas de una escena de la película utilizada y del vocabulario de esa sección. A partir de los resultados, se puede apreciar que los participantes, en general, incrementaron sus porcentajes de vocabulario memorizado. Estos resultados refuerzan el poder lúdico y educativo que tiene una película en el aprendizaje de los estudiantes como identificaron en sus estudios Hsieh et al., (2010) y Suetrong (2015).

Para el caso de los estudiantes de inglés, realizar actividades de aprendizaje a partir del uso de películas contribuye al disfrute de la actividad, cambio de actitud, memorización de vocabulario, mejora de su aprovechamiento académico entre otros beneficios académicos (Hsieh, 2010; Suetrong, 2015; Aria, 2022; May-Meléndez et al., 2023). Los resultados obtenidos en este estudio, como se indicó en el párrafo anterior, refuerzan el aprovechamiento de los estudiantes a través de sus resultados en los pre-y post- tests. De igual forma, durante el desarrollo de la estrategia didáctica se pudo apreciar, a través de métodos de observación, un cambio de conducta, interés y participación de los estudiantes como destaca la literatura consultada y existente en torno a este mismo tema, en especial, Chiesa (1992). Este dato lo destacamos aquí, aunque no se presentan esos datos, si es información que se manejó en el reporte de tesis.

En general, el incremento de aprovechamiento entre el primer pre-test y el tercer post-test se tradujo en mayor confianza, en los alumnos, sobre su propio aprendizaje como lo mencionan May-Meléndez et al., (2023). Este aumento en los números obtenidos por los participantes puede deberse a las actividades donde se utilizaron las películas y ejercicios de vocabulario, pero también puede deberse a cuestiones inherentes del aprendizaje en general. No obstante, no todos los participantes obtuvieron incrementos significativos pues también se tuvo diferencias de 3 a 7 puntos. Esto puede ser un reflejo del esfuerzo e interés del participante, así como también, un avance lógico del mismo proceso de aprendizaje general.

En el resultado porcentual de las tres semanas, es evidente la diferencia entre el pre-test y el post test por semana, teniendo en estos últimos más participantes con un incremento total de aciertos. Esto parece indicar que efectivamente su habilidad para memorizar vocabulario a través de la estrategia del uso de los subtítulos y ejercicios de vocabulario se incrementó como lo indican Pérez Gómez (2020) y Arias (2022).

Aunque los resultados socializados en este artículo solo consideran una parte de un trabajo de tesis evidencian un incremento en el aprovechamiento de los participantes evidenciados por los aciertos obtenidos en los post-tests. Esto, refuerza y sustenta la literatura existente sobre esta temática y los propios resultados obtenidos. Además, en experiencia de este estudio, se corrobora que el uso de películas en el aprendizaje de un idioma puede fomentar un aprovechamiento significativo y lúdico.

Conclusiones

El uso de la tecnología en la enseñanza ha sido imparable, actualmente, con las herramientas informáticas y de las TIC, no solo ha sido así, sino que también ha permitido la innovación, socialización y acercamiento de aprendizajes que, de otra forma serían imposibles. En el caso de la enseñanza del inglés en entornos totalmente extranjeros, las TIC nos han permitido llevar al salón, el discurso de hablantes nativos a través de elementos grabados e, incluso, de emisiones en vivo. Por lo tanto, el uso de audios, videos y películas es un elemento más del aula de idiomas.

A partir del uso del formato audiovisual, la clase de inglés se ha vuelto más lúdica, amena y útil al acercar ambientes sociales y culturales de las distintas culturas que hablan dicho idioma. De esta forma, los profesores diseñan experiencias de aprendizajes con imagen, audio y video. En el caso del uso de películas, con subtítulos, ya sean en inglés o en español, nos han permitido nuevas estrategias de aprendizaje y práctica del idioma.

En este estudio, en donde el objeto de investigación ha sido el uso de películas cómicas para la enseñanza del inglés apoyados por los subtítulos, se ha comprobado que la literatura sobre este tema es abundante.

A parte, los resultados de los participantes y la literatura consultada muestran que efectivamente, si fomenta el aprendizaje de vocabulario, cuestiones culturales y expresiones cotidianas, además de que fomenta el autoaprendizaje. De esta forma, los estudiantes de inglés pueden verificar lo que dicen los hablantes de la película, tanto en inglés como en español. Independientemente, del uso de uno u otro idioma en los subtítulos, la estrategia didáctica durante esta investigación refuerza vocabulario, entre otros aspectos del aprendizaje de un idioma.

Los resultados, tanto teóricos como empíricos, en este estudio evidencian el incremento de aprovechamiento de los participantes al mejorar sus aciertos en exámenes y ejercicios de vocabulario con lo que demuestran la memorización del vocabulario trabajado. También, se observa una mayor participación en las actividades, así como una actitud positiva, mediante la participación activa, hacia el aprendizaje del idioma y la memorización de vocabulario. A partir de esto, se respondió a la pregunta de investigación y se logró el objetivo de la misma. Ya que se consiguió identificar el uso eficiente de películas al captar la atención de los estudiantes y enfocar el aprendizaje de vocabulario según las actividades y ejercicios. Con lo anterior, se demuestra el valor didáctico de los subtítulos para el aprendizaje de vocabulario y mejora de los resultados de los pre- y post-tests empleados.

Las implicaciones pedagógicas del uso de películas de comedia son metodológicas, formativas y socio-afectivas. A través del uso de películas de comedia los participantes potencian el aprendizaje de vocabulario, la motivación y el aprendizaje de índole cultural. También, el uso de películas crea un ambiente de aprendizaje lúdico y relajado.

Entre las limitaciones identificadas en este estudio están el tiempo que se llevó la estrategia didáctica y la muestra tomada. Por lo que se recomienda, en un estudio similar, considerar un grupo con mayor cantidad de integrantes o más grupos, dependiendo las cuestiones administrativas de la institución. También, se recomienda realizar la estrategia didáctica por más tiempo y con más sesiones de actividades. Por otra parte, se proyecta que los beneficios de identificar las bondades del uso de películas de comedia para el aprendizaje del vocabulario de uso cotidiano redundarán en una mayor participación de los estudiantes, un mejor aprovechamiento y un aprendizaje relajado, pero significativo.

Referencias

Allen, R. & Smith, M. (1997). Film theory and philosophy. Oxford: Oxford University Press.

Arias, H. G. (2022). Uso del subtitulaje en inglés para la adquisición de vocabulario entre los estudiantes de la licencenciatura en idiomas. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(5), 306-517.

Biasutto, S. N., Caussa, L. I., & Criado del Rıo, L. E. (2006). Teaching Anatomy: cadavers vs. computers? Annals of Anatomy, 188, 187–190.

Brown, S. K. (2010). Popular films in the EFL classroom: study of methodology. Procedia Social and Behavioral Sciences. 3(45-54). https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.07.011

Chiesa, M. (1992). Radical behaviorism and scientific frameworks: from mechanistic to relational accounts. American Psychologist, 47, 1287-1299.

Correa Marciales, Nelly. (2023). Libro de texto para la enseñanza del inglés como lengua extranjera (ILE): Tensiones y perspectivas de investigación. CIEG, 64, (pp. 24-39). https://revista.grupocieg.org/wp-content/uploads/2023/08/Ed.6324-39-Correa-Marciales.pdf

Ferrer Méndez, R., May Meléndez, R.A. y Sánchez Rivero, A.D. (2025). Enseñanza del inglés a través de proyectos comunitarios en Rangel-Marrón, M., Figueroa-Ramírez, S.J. y Canedo-López, Y. Handbook T-II: Inclusión y tecnología en la educación superior en Perspectivas interdisciplinarias desde la Unacar. (pp. 20-32). Ecorfan. https://doi.org/10.35429/H.2025.2.1.112

Georgakopoulou, A. (2000). On the sociolinguistics of popular films: Funny characters, funny voices. Journal of Modern Greek Studies, 18(1), (pp. 119-133).

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill.

Hsieh, H. L., Wu, J. Y., Lai, P., Chang, S. K., Chen, T. Y., & Kao, W. J. (2010). The effect of movie viewing on learning English as a foreign language.

Khalaf, B.K. (2016). An introduction to subtitling: Challenges and strategies. International Journal of English Language, Literature and Translation Studies. 3(1), https://www.researchgate.net/publication/324921121_AN_INTRODUCTION_TO_SUBTITLING_CHALLENGES_AND_STRATEGIES

May Meléndez, R., Ferrer Méndez, R. y Sánchez Rivero, A. (2023). Youtube IELTS practice as an online tool to complement IETLS preparation in the EFL *classroom*. *ICERI2023 Proceedings.* (pp. 6892-6898). https://doi.org/10.21125/iceri.2023.1718

Pérez Gómez, L. (2020). El uso de subtítulos para fomentar el autoaprendizaje del vocabulario de inglés en los estudiantes de Educación Secundaria.

Saxena, V., Natarajan, P., O'Sullivan, P. S., & Jain, S. (2008). Effect of the use of instructional anatomy videos on student performance. Anatomical Sciences Education, 1, 159–165.

Suetrong, P. (2015). The learners' attitudes toward the use of English Language Movies with Thai Subtitles and English subtitles to improve listening comprehension skills. Thammasat University.

Wenden, A. L. (1987a). Conceptual background and utility. In A. L. Wenden & J. Rubin (Eds.), Learner strategies in language learning, 3-13. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Wilkins, D. (1972). Linguistics in language teaching. London: Arnold.

Fecha de recepción:16/01/2026
Fecha de aceptación: 27/03/2026

Herramienta computacional para determinar el tipo de cementación en pozos exploratorios

Vital Ocampo Angélica Gabriela[1]
Berzunza Rosado Berzabeth
Montoya Hernández Daniel de Jesús
Solana Neri Fernando del Jesús

Resumen

Se desarrolló una herramienta computacional para determinar de forma automática el tipo de cementación Portland para pozos exploratorios denominada HC-DTC. La herramienta está basada en una tabla guía o "*Screening*" misma que se desarrolló a partir de los principales trabajos reportados en literatura especializada. La tabla guía está basada en parámetros relacionados con el pozo y con el tipo de cemento tales como, el diseño y geometría, termodinámica y reología, composición y comportamiento químico, diagnóstico y curado de la lechada. La validación de HC-DTC, se realizó en dos partes, comparando los resultados con datos tomados de pozos de los principales campos nacionales. La primera incluyó simulaciones para evaluar 5 pozos de desarrollo. Los resultados obtenidos coincidieron completamente con el tipo de cementación utilizada en los pozos comparados. En la segunda parte, se analizó un pozo exploratorio ubicado en la sonda de Campeche, del cual se obtuvo que el tipo de cementación sugerida cumple con las especificaciones requeridas API tipo Portland H para la operación en campo.

Palabras clave: Cementación primaria, pozos petroleros, Herramienta computacional; pozos exploratorios, Criterios de selección.

ABSTRACT

A computational tool called HC-DTC was developed to automatically determine the type of Portland cement grouting for exploratory wells. The tool is based on a screening table developed from the main studies reported in the specialized literature. The guide table is based on parameters related to the well and the type of cement, such as design and geometry, thermodynamics and rheology, composition and chemical behavior, and grout diagnosis and curing. The validation of HC-DTC was conducted in two parts, comparing the results with data taken from wells in the major national fields. The first part included simulations to evaluate five development wells. The results obtained fully matched the type of cementation used in the compared wells. In the second part, an exploratory well located in the Campeche basin was analyzed, and it was found that the suggested type of cementation meets the required API Portland H specifications for field operation.

Keywords: Primary cementing, Oil wells, Computational tool, Exploratory wells; Selection criteria.

1. Introducción

La cementación es el proceso que se lleva a cabo durante la perforación y consiste en bombear cemento en el espacio anular, aislando la tubería de revestimiento de la formación circundante. Este procedimiento implica mezclar y desplazar una lechada de cemento que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo así una consistencia similar a la de una roca artificial; esto

[1] Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Química.

con el objetivo de proteger el hoyo de un posible colapso y formar un sello hidráulico entre la tubería de revestimiento y la formación, lo anterior también es conocido como cementación primaria (Albarrán, 2012). Este tipo de cementación es el único elemento que garantiza el aislamiento zonal. Sin un sello hidráulico efectivo, no hay control sobre el flujo de fluidos entre diferentes estratos geológicos, por otra parte, la integridad estructural y operativa de un pozo petrolero depende críticamente de la calidad de esta cementación, la cual debe garantizar un sello hidráulico permanente en el espacio anular. La cementación primaria es la única operación que no se puede "repetir" de forma sencilla. El análisis teórico demuestra que una falla en el aislamiento zonal reduce la vida productiva del pozo en un 30-50% debido al flujo cruzado (cross-flow) entre arenas e inclusive se justifica que es necesario invertir un 10% más en un mejor diseño de cementación ya que ahorra un 500% en costos de reparación a largo plazo (Nelson & Guillot, 2026).

Derivado de lo anterior, la cementación en pozos petroleros juega un papel fundamental, ya que conocer la clasificación y características del cemento, los fenómenos físicos y químicos a los cuales puede estar expuesto el cemento, los intervalos y parámetros que definen al pozo (la profundidad, temperatura, lechada, rendimientos y mezcla de agua) son cruciales, porque controlan el fraguado, la integridad zonal y la colocación continua del cemento reduciendo costos y tiempos de implementación. (Doonechaly et al., 2024).

En la industria petrolera el tipo de cemento a utilizar se clasifica de acuerdo con las especificaciones del American Petroleum Institute (API, por sus siglas en inglés) (API, 2010, Saavedra, 2014). De las nueve clasificaciones existentes, las Clases A, G, H y C, identificadas como cemento de alta resistencia inicial, son las utilizadas en la mayoría de las operaciones de cementación de pozos a nivel mundial (Saavedra, 2014). Sin embargo, la mejor selección depende del conocimiento de los parámetros e intervalos que definen el pozo en cuestión ya que de no hacerlo se asumiría necesaria una acción correctiva conocida como una cementación secundaria o forzada misma que incrementa en costos y tiempos de operación de los proyectos petroleros (Estrada, 2019; Kaya y Taleghani, 2025).

Por lo anterior, en el presente trabajo se desarrolla una herramienta computacional con la cual es posible identificar de manera anticipada la cementación Portland óptima en pozos petroleros. En ella, se contemplan parámetros relacionados con el pozo y el cemento como: el diseño y geometría, termodinámica y reología, composición y comportamiento químico, diagnóstico y curado de la lechada mismos que son parte de los elementos relevantes mencionados en los trabajos publicados por Burciaga (2014), Muñoz (2019), Armendáriz (2014), Reyes (2011) y Aliiev (2015).

2. Metodología

Para el desarrollo de la herramienta (HC-DTC) se propuso la siguiente metodología la cual está dividida en cinco fases específicas, mismas que se describen a continuación:

1) Selección de parámetros. Para realizar el análisis técnico, se seleccionarán los parámetros más relevantes, con los cuales será posible identificar y definir el tipo de cementación Portland óptima. Para ello, se utilizó como guía información reportada en literatura especializada sobre cementación de pozos petroleros.

2) Generación de la Tabla Guía. Se desarrolló e integró una tabla guía con los principales parámetros seleccionados de la literatura. Los valores de cada uno de los parámetros se ponderan para definir un valor único o un intervalo específico de aplicación.

3) Diseño de la HC- DTC. El código y ambiente visual se realizó en el compilador Python. Para el análisis y selección del tipo de cementación, se consideró que se deberá cumplir total o parcialmente con el 80% de los parámetros establecidos en la tabla guía de selección. Para el cumplimiento parcial, se asumió que el valor de referencia podrá estar ±5% arriba o abajo del valor de referencia.

4) Validación de la HC- DTC. La validación incluye comparación de resultados con datos de pozos de desarrollo.

5) Simulación y análisis del caso de estudio. Una vez validada la HC- DTC, se recolectó información del pozo a analizar, basada en los parámetros establecidos en la tabla guía, para determinar el tipo de cementación sugerido.

3. Desarrollo de la herramienta computacional HC-DTC.

3.1. Selección de parámetros

Como primer paso, se seleccionaron los parámetros más relevantes siendo estos los factores críticos y fundamentales que determinan la integridad de la cementación y la estabilidad del pozo. Los parámetros más importantes se definen a

continuación.

a) Parámetros de diseño y Geometría:

• Profundidad: La posición y extensión vertical de la lechada determinan si el anillo cementado sella las formaciones objetivo y soporta las cargas de la tubería; por eso es imprescindible medir dónde llega y si hay espacios sin cemento. El monitoreo posicionado identifica el tramo cementado y permite acciones correctivas cuando existen vacíos o discontinuidades.
(Doonechaly et al., 2024)

• Rendimiento: Monitorear el rendimiento volumétrico y el comportamiento de retorno es clave para garantizar que la lechada alcanza las formaciones objetivo sin generar sobrepresiones ni pérdidas de fluido; además, la resistencia al flujo (yield stress) condiciona la estabilidad de la columna de cemento. Controlar estos parámetros minimiza riesgos de fallas de aislamiento y problemas operativos en superficie (Doonechaly et al., 2024).

b) Termodinámica y Reología.

• Temperatura: La temperatura de circulación de fondo y su evolución durante y después del bombeo afectan directamente el tiempo de espesamiento y la cinética de fraguado de la lechada, por lo que su predicción y monitoreo son críticos para diseñar la mezcla y el tiempo operativo. Medidas reales de temperatura permiten ajustar diseños de lechada y evitar espesamientos prematuros o fraguados tardío que comprometan la colocación (Ravi et al., 2014)

• Densidad: La densidad de la lechada se ajusta para controlar la presión ejercida sobre la formación y evitar pérdidas o fracturamiento; en pozos de baja presión se emplean lechadas de baja densidad y en HTHP (High Temperature, High Pressure, por sus siglas en inglés) lechadas más pesadas (Oola et al., 2025)

c) Composición y comportamiento químico

• Mezcla de agua: El agua de mezcla y su proporción controlan la densidad, la reología y la hidratación del cemento; una proporción o calidad inadecuada provoca variaciones de densidad, segregación, tiempos de fraguado erráticos y problemas de integridad. Además, infiltraciones o suministro continuo de agua desde formaciones pueden alterar la respuesta térmico-mecánica durante el fraguado (Suleimanov et al., 2023).

• Resistencia a sulfatos: Este refleja la capacidad del cemento para resistir ataques de sulfatos presentes en aguas de formación; esta propiedad se controla sobre todo por la composición química. La selección de estos se realiza cuando las aguas de formación contienen sulfatos agresivos, cuando esto pasa, se prefiere cementos con resistencia a sulfatos altos o formulaciones resistentes para minimizar deterioro, pérdida de resistencia o aumento de permeabilidad del cemento con el tiempo (Xu et al., 2015)

d) Diagnóstico y Curado de la lechada.

• Lechada: Mediciones químicas, térmicas y acústicas de la lechada durante el curado permiten identificar huecos, canales o mala adherencia en tiempo real y habilitar remediaciones (Doonechaly et al., 2024,). Las propiedades térmicas de la lechada influyen en su calentamiento durante colocación y, por ende, en los tiempos de fraguado usados en el diseño (Ravi et al., 2014)

3.2 Generación de la Tabla Guía

A partir de los parámetros seleccionados, se realizó una revisión de literatura especializada, destacando las contribuciones reportadas por Burciaga (2014), Muñoz (2019), Armendáriz (2014), Reyes (2011) y Aliiev (2015). El análisis y depuración de estos trabajos permitieron establecer los valores e intervalos exclusivos para la HC- DTC, consolidando así la Tabla Guía de selección que se presenta en la Tabla 1.

3.3. Diseño de la HC-DTC

Utilizando la información de la Tabla 1, se generó tanto el ambiente visual, así como el código en el compilador Python. La figura 1, muestra el diseño del ambiente visual en la cual se consideraron 2 pestañas principales identificadas como Datos (recuadro rojo) y Contactos (recuadro violeta). Al ubicarse en la sección “Datos” se apertura una nueva pantalla la cual está dividida en dos bloques mismos que se identifican como los Parámetros (recuadro amarillo) y Resultados (recuadro verde). En bloque de “Parámetros” se colocan los datos del pozo a

Tabla 1. Tabla Guía de selección de parámetros.

Clasificación de la cementación	PARÁMETROS										
	Profundidad del pozo (m)	Mezcla con agua		Resistencia a sulfatos (%)	Rendimiento		Densidad		Temperatura (°C)	Lechada	
		gal/sk	L/sk		ft^3/sk	L/sk	ppg	g/cm^3		Lbm/gal	g/cm^3
A(Tipo I)	Hasta 1829.28	5.2	19.68	5-8	1.18	33.41	15.6-15.7	1.86-1.88	15.55-170.6	15.6	1.86
B (Tipo II)	Hasta 1829.28	5.2	19.68	5-8	1.18	33.41	14.8-15.7	1.77-1.88	15.55-170.6	15.6	1.86
C (Tipo III)	Hasta 1829.04	5.2-6.3	19.68-23.01	5.8	1.18-1.32	33.41-37.37	14.8-15.7	1.77-1.88	15.55-170.6	15.06	1.8
D	1830-3657.6	4.3-6.3	16.27-23.84	5-8	1.06-1.18	30.01-33.41	15.7-16.4	1.88-1.96	76.66-230	16	1.92
E	1830-4270	4.3-5.2	16.27-19.68	5-8	1.06-1.18	30.01-33.41	15.7-16.4	1.88-1.96	76.66-289.4	16	1.92
F	3050-4880	4.3-5.2	16.27-19.68	5-8	1.06-1.18	30.01-33.41	15.7-16.4	1.88-1.96	110-320	16	1.92
G	2240-3048	5-5.2	18.92-19.07	5-8	1.15-1.18	32.56-33.41	15.8-16.5	1.89-1.96	15.55-320	15.7	1.88
H	2240.04-4876.8	4.3-5.2	16.27-19.68	5-8	1.06-1.18	30.01-33.41	15.8-16.5	1.89-1.96	15.55-320	15.93	1.90
J	3660-4880	5	18.92	5-8	1.14	32.28	16.5	1.97	50-177.22	16.4	1.97

simular, y se presiona el botón "Ejecutar" (recuadro morado). Finalmente, en el bloque de "Resultados" se mostrará el tipo de cementación sugerido al pozo petrolero analizado. En caso de generar una nueva simulación será necesario presionar el botón "limpiar" (recuadro azul) e introducir nuevos parámetros y para finalizar con las simulaciones se deberá presionar el botón "Exit".

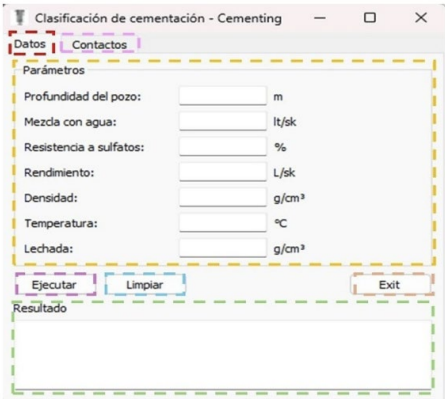


Figura 1. Pantalla principal de la herramienta HC-DTC.

Adicionalmente, en la sección "Contactos", se dispone de los datos personales de los desarrolladores, mismos que podrán ser utilizados para dudas, mantenimiento y actualización de la herramienta.

4. Resultados y discusión

Para la validación, se recopiló información de 5 pozos de desarrollo de campos nacionales reportados en la CNH, (2023). Es importante puntualizar que por cuestiones de confidencialidad se han omitido los nombres y ubicación de los pozos. La información antes mencionada se organizó y concentró en la Tabla 2, todos los pozos coinciden con el tipo de cementación utilizada del tipo H.

Tabla 2. Datos de 5 pozos de desarrollo (CNH, 2023)

No. de pozo	PARÁMETROS											
	Profundidad del pozo (m)		Mezcla con agua		Resistencia a sulfatos (%)	Rendimiento		Densidad		Temperatura (°C)		Lechada	
			gal/sk	L/sk		ft^3/sk	L/sk	ppg	g/cm^3			Lbm/gal	g/cm^3
1	4462 m	> 2240 m	4.2	15.89	0	1.13	31.99	16.2	1.94	35	< 95	16.2	1.94
2	1000	1000	4.95	18.73	0	1.13	31.99	15.8	1.89	35	< 95	16.2	1.94
3	3865	3865	4.9	18.54	0	1.14	32.28	16.4	1.97	32	< 95	16.4	1.97
4	4095	4095	4.9	18.54	0	1.14	32.28	16.2	1.94	39	< 95	16.4	1.97
5	4260	4260	5.1	19.30	0	1.14	32.28	16.2	1.94	30	< 95	16.2	1.94

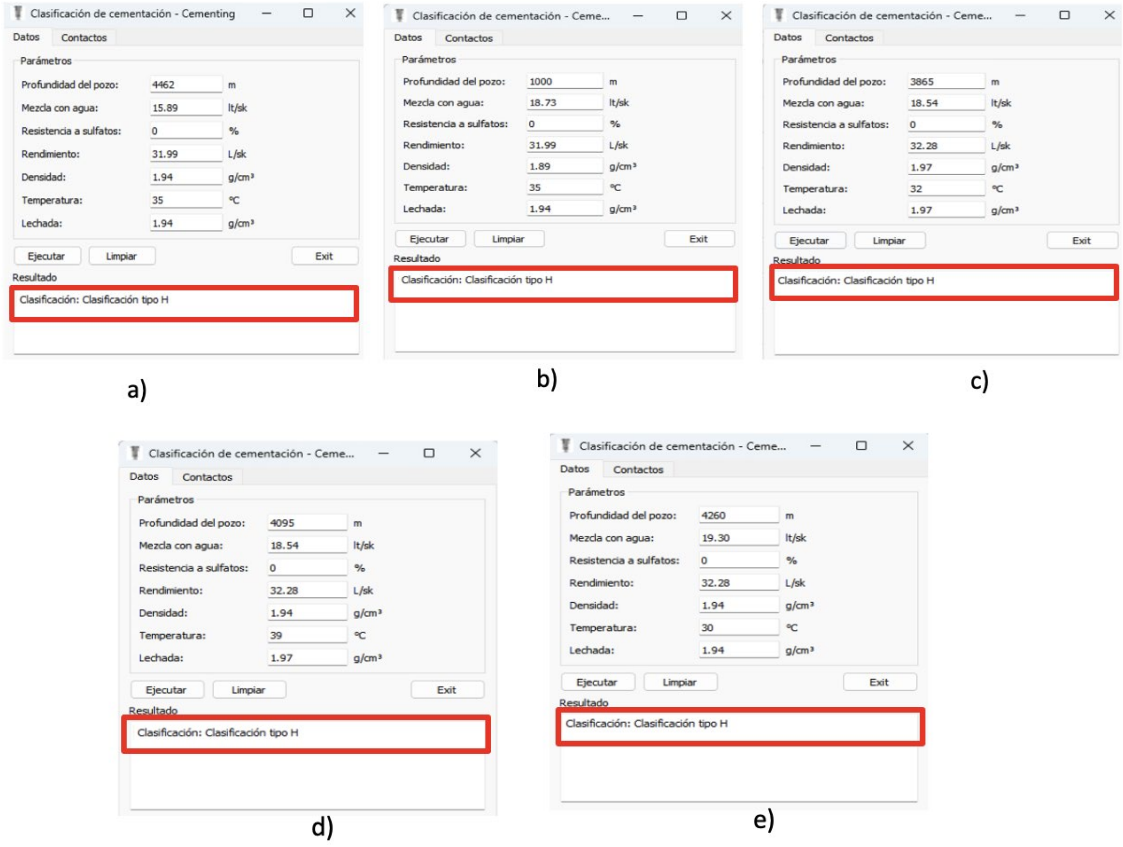


Figura 2. Validación de HC-DTC, a) Pozo1, b) Pozo 2, c) Pozo 3, d) Pozo 4 y e) Pozo 5

Respecto al parámetro de "resistencia a sulfatos", se identificó que la CNH, (2023) no reportó dato alguno por lo que, este no pudo ser evaluado. Sin embargo, los seis parámetros restantes, fueron analizados en función de lo establecido en la Tabla Guía. En la Figura 2, se muestran las simulaciones realizadas en HC- DTC con los datos de los 5 pozos de desarrollo. Los resultados obtenidos indicaron que, el tipo de cementación sugerida para estos pozos era el tipo H, coincidiendo al 100% con lo especificado en la referencia utilizada.

En la Tabla 3, se muestra información complementaria de la validación. Esta se presenta a través del análisis paramétrico y un semáforo de colores que identifica, de acuerdo con el color obtenido, el porcentaje de cumplimiento.

El color verde establece un cumplimiento completo, el color amarillo establece un cumplimiento parcial (±5% del valor de referencia) y el color rojo indica que no cumple con el valor establecido en la Tabla 1.

Tabla 3. Identificación de parámetros según cumplimiento

Parámetros	**No. de pozo**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Profundidad del pozo (m)	100%	0%	100%	100%	100%
Mezcla con agua (Lt/sk)	95.1%	100%	100%	100%	100%
Resistencia a sulfatos (%)	NE	NE	NE	NE	NE
Rendimiento ((Lt/sk)	100%	100%	100%	100%	100%
Densidad (g/cm^3)	100%	100%	100%	100%	100%
Temperatura (°C)	100	100%	100%	100%	100%
Lechada (g/cm^3)	95.88%	95.88%	92.9%	92.9%	92.9%
% de Cumplimiento	98.49%	83%	98.81%	98.81%	98.81%
Tipo de Cementación	H	H	H	H	H

NE: No evaluado por falta de información

Tabla 4. Datos de simulación del pozo exploratorio.

No. de pozo	PARÁMETROS											
	Profundidad del pozo (m)		Mezcla con agua		Resistencia a sulfatos (%)	Rendimiento		Densidad		Temperatura (°C)		Lechada	
			gal/sk	L/sk		ft³/sk	L/sk	ppg	g/cm³			Lbm/gal	g/cm³
1	5828	5828	5	18.92	0	1.14	32.28	16.5	1.97	35	<95	16.4	1.97

A partir de la información de la Tabla 3 se identificó que el pozo 2 fue el único que incumplió totalmente con el valor de la profundidad. Respecto al resto de los parámetros, los porcentajes son totalmente aceptables coincidiendo con lo calculado en la HC-DTC.

Dada la confiabilidad de la HC- DTC, se procedió a definir el tipo de cementación idónea ahora, para un pozo exploratorio, ubicado en la sonda de Campeche. Para ello, fue necesario recopilar información basada en la establecida en la Tabla Guía (tabla 1). Dado lo anterior, los datos del pozo exploratorio se concentran la Tabla 4.

Introduciendo los datos de la Tabla 4 en la HC- DTC se obtuvo como resultado que el tipo de cementación recomendada era del tipo H, tal como se muestra en la Figura 3.

Después de realizar el análisis paramétrico (ver Tabla 5), se determinó que los datos del pozo exploratorio cumplieron con el 82 % de los parámetros establecidos en la Tabla Guía (Tabla 1). Respecto al parámetro de profundidad fue el único que incumplió totalmente con el valor de referencia. Respecto al resto de los parámetros, los porcentajes son totalmente aceptables coincidiendo entonces con lo simulado por HC-DTC.

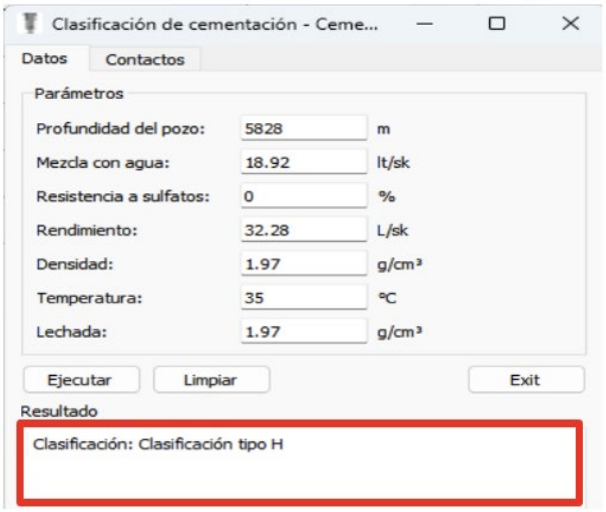


Figura 3. Simulación del pozo exploratorio, ubicado en la sonda de Campeche.

Parámetros	Pozo exploratorio
Profundidad del pozo (m)	0%
Mezcla con agua (Lt/sk)	100%
Resistencia a sulfatos (%)	NE
Rendimiento ((Lt/sk)	100%
Densidad (g/cm³)	100%
Temperatura (°C)	100%
Lechada (g/cm³)	94.28%
% de cumplimiento	82.38%
Tipo de cementación	H

NE: No evaluado por falta de información

Tabla 5. Identificación de parámetros según cumplimiento, Pozo Exploratorio.

De acuerdo con los resultados obtenidos se enfatiza la necesidad de implementar herramientas computacionales fundamentadas en guías de selección técnicas para predecir de manera preliminar la viabilidad del diseño de cementación, facilitando la toma de decisiones de forma ágil y precisa, minimizando así la incertidumbre operativa en las fases iniciales del proyecto.

5. Conclusiones

Se desarrolló una herramienta computacional (HC-DTC) para determinar del tipo de cementación para pozos exploratorios a partir de una tabla guía de selección de parámetros desarrollada con base en literatura especializada. Esta tabla guía funge como la responsable para vigilar los parámetros tales como profundidad, temperatura, lechada, rendimientos y mezcla de agua que definen el éxito de la selección del tipo de cementación sugerida para pozos exploratorios.

Se compararon resultados obtenidos para pozos de desarrollo y pozos exploratorios. los resultados mostraron completa concordancia con la cementación empleada en 5 pozos de desarrollo analizados. Por otro lado, se encontró que, para el pozo exploratorio la cementación tipo H sugerida por HC-DTC cumple con al menos el 82% de los parámetros establecidos en la Tabla Guía de selección. Se identificó que los parámetros como lechada y % resistencia a sulfatos cumplieron parcialmente. Lo anterior se debe principalmente que en la literatura especializada hay poca información referente a sulfatos.

Los resultados obtenidos permiten establecer nuevos criterios para determinar el tipo de cementación en pozos exploratorios, donde la integración de guías técnicas en plataformas digitales permite una transición hacia la automatización operativa. Al estandarizar la selección del tipo de cemento mediante modelos predictivos, las empresas operadoras pueden reducir significativamente la incertidumbre, maximizando la eficiencia en costos y garantizando la integridad estructural del pozo a largo plazo.

Referencias

Albarrán, Hernández. (2012). Cementación de pozos petroleros en aguas profundas (Tesis). Universidad Nacional Autónoma de México.

Aliiev. (2015). API Cements and Additives. (Section 3, pp. 3-15). Halliburton Cementing Manual

American Petroleum Institute (API). (2010). API Spec 10A: Specification for Cements and Materials for Well Cementing (24th ed.). Washington, DC: API Publishing Services.

Armendáriz, García (2014). Cementación de Pozos Petroleros. Unidad I Materiales de cementación.

Burciaga Díaz, O. (2014). Evaluación de la eficiencia en la cementación primaria para pozos de alta presión. México: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) / UNAM.

CNH, (2023). Actividad Exploratoria. Comisión Nacional de Hidrocarburos.

Doonechaly N. G., Reinicke, A., Hertrich, M., Plenkers, K., Obermann, A., Fischli, F., Maurer, H., Wiemer, S., & Giardini, D., (2024). Multiphysics monitoring of cementation operation: implications for wellbore integrity and hydrogeological characterization, Enviromental earth sciences Vol. 83, no. 5, Feb.

Estrada, Estrada (2019). Cementaciones forzadas en reparaciones menores y mayores (Tesis). Universidad Nacional Autónoma de México.

Kaya G. & Taleghani A. (2025). Zonal Isolation Challenges and Potential Integrity Solutions in UGS Wells, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 22-25 Octubre.

Muñoz, J. (2019). Criterios técnicos para la selección de cementación óptima en pozos petroleros de alta presión y temperatura. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Nelson, E. B., & Guillot, D. (2006). Well Cementing (2nd ed.). Sugar Land, TX: Schlumberger.

Oola A., Rashedi H., Soltanian H., & Nakhaee A., (2025). Design of lightweight oil-well cement slurries incorporating D-124 microspheres and glass bubbles for low-temperature applications. Results in Engineering, Vol, 28, Dic.,

Ravi K. M., Samson E. M., Maida J. L., & Hunter W. J., (2014). "Cement slurry monitoring," Feb. US8636063B2

Reyes, Juárez A. (2011). Producción 1: Cementación. Universidad de América. SlideShare.

Saavedra, Larsson. (2014). Clasificación de los cementos. American concretes Institute & American Society Testing Materials. SlideShare.

Suleimanov B. A., Veliyev E. F., & Aliyev A. A., (2023). "Oil and gas well cementing for engineers," Aug. Print ISBN:9781394164851, Online ISBN:9781394164882,. Ed. John Wiley & Sons Ltd.

Xu, C., Liu, L., & Liu, Y., (2015). High-temperature-resistant high-strength low-density well-cementing cement slurry, Science of Advanced Materials, Vol. 7, No.1, pp. 114-118(5). Jan.

Fecha de recepción: 20/04/2026
Fecha de aceptación: 08/05/2026

Importancia trófica del cocodrilo mexicano (*Crocodylus moreletii*) en ecosistemas costeros

Olivares Cajija Dalila Emily[1]
Pérez Aldana Sergio Yahir[2]
Telumbre Terrero Juan Yovani[3]

Resumen

El cocodrilo de pantano *Cocodrylus moreletii*, es una especie emblemática de los humedales tropicales de México y uno de los principales depredadores tope de los ecosistemas acuáticos del Golfo de México y la Península de Yucatán. A pesar de su importancia ecológica, durante el siglo XX sus poblaciones sufrieron una drástica disminución debido a la cacería y el comercio no regulado de pieles, lo que condujo al establecimiento de vedas y programas de conservación orientados a su recuperación. Actualmente, esta especie es reconocida no solo por su valor biológico y evolutivo, sino también por su función como regulador trófico e "ingeniero del ecosistema", ya que contribuye al mantenimiento de la biodiversidad, la dinámica hídrica y el equilibrio ecológico de humedales, pantanos, manglares y lagunas costeras. El presente trabajo analiza la importancia ecológica de *Crocodylus moreletii* a partir de aspectos relacionados con su origen, anatomía, fisiología, alimentación, reproducción y distribución geográfica, destacando las adaptaciones que le permiten desempeñar un papel fundamental dentro de las redes tróficas. Asimismo, se aborda su relevancia en la conservación ambiental y en los programas de manejo sustentable desarrollados en México, enfatizando la necesidad de transformar la percepción social de la especie, pasando de considerarla únicamente un riesgo potencial o un recurso comercial, a reconocerla como un componente clave para la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas tropicales.

Palabras clave: conservación biológica, depredador tope, regulación trófica, humedales tropicales.

ABSTRACT

The Morelet's crocodile (*Cocodrylus moreletii*) is an iconic species of Mexico's tropical wetlands and one of the primary apex predators in the aquatic ecosystems of the Gulf of Mexico and the Yucatán Peninsula. Despite its ecological importance, its populations suffered a drastic decline during the 20th century due to hunting and unregulated trade in skins, leading to the establishment of hunting bans and conservation programs aimed at its recovery. Currently, this species is recognized not only for its biological and evolutionary value, but also for its role as a trophic regulator and "ecosystem engineer," as it contributes to the maintenance of biodiversity, water dynamics, and the ecological balance of wetlands, swamps, mangroves, and coastal lagoons. This study analyzes the ecological importance of Crocodylus moreletii based on aspects related to its origin, anatomy, physiology, diet, reproduction, and geographic distribution, highlighting the adaptations that allow it to play a fundamental role within food webs. It also addresses its relevance to environmental conservation and sustainable management programs in Mexico, emphasizing the need to transform societal perceptions of the species—shifting from viewing it solely as a potential risk or commercial resource to recognizing

[1] Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ciencias Naturales. [2] Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ciencias Naturales. [3] Doctor en Salud Mental. Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ciencias Naturales.

it as a key component for the stability and resilience of tropical ecosystems.

Keywords: biological conservation, top predator, trophic regulation, tropical wetlands.

Introducción

Los cocodrilos y sus parientes cercanos representan el epítome de la supervivencia entre los grandes reptiles, con una historia evolutiva compleja que involucra diversificación geológica y un diseño corporal eficiente desde el Cretácico tardío (al menos 100 millones de años), óptimo para ambientes acuático-terrestres gracias a su anatomía y fisiología adaptadas (Brochu, 1999; Grigg y Gans, 1993). Este grupo zoológico, orden *Crocodylia* (definición filogenética Sereno et al., 2001), comprende actualmente 24 especies en 9 géneros distribuidos en regiones tropicales y subtropicales, agrupados en la familia *Crocodylidae* con tres subfamilias consensuadas por evidencia morfológica y molecular: *Alligatorinae (Alligator, Caiman, Melanosuchus, Paleosuchus), Crocodylinae (Crocodylus, Mecistops, Osteolaemus) y Gavialinae (Gavialis, Tomistoma)* (García-Grajales y Buenrostro-Silva, 2017).

En América, solo están presentes *Alligatorinae y Crocodylinae*; en México y norte de Centroamérica habitan tres especies: Caiman *crocodilus (chiapasius), Crocodylus acutus y Crocodylus moreletii* este último conocido como cocodrilo de pantano, lagarto negro, mexicano, de Belice o centroamericano (nombres comunes que reflejan su distribución y morfología)— (Álvarez del Toro, 1974).

En nuestro país, *Crocodylus moreletii* se distribuye en el Golfo de México y la Península de Yucatán. Durante el siglo XX sus poblaciones en México disminuyeron debido a la cacería y el comercio no regulado de sus pieles. En consecuencia, el gobierno mexicano prohibió su aprovechamiento y el gobierno de los Estados Unidos lo clasificó como "En Peligro de Extinción"; como resultado de estas acciones se implementó el programa de monitoreo del cocodrilo de pantano durante (2011 – 2016). Ya que los cocodrilos no solo cumplen una función de suma importancia dentro de sus hábitats, sino que son considerados especies clave, ya que su sola presencia en un área y las interacciones que puede realizar en la misma influyen en la trayectoria de las poblaciones de otros organismos que viven en su hábitat, así como modificar y cambiar la dinámica de este (CONABIO, 2010).

En consonancia con lo anterior el objetivo del presente documento es analizar el papel fundamental de Crocodylus moreletii como depredador tope y regulador trófico en los ecosistemas costeros y humedales de México, destacando cómo su actividad biológica e interacciones poblacionales mantienen el equilibrio y la salud de estos hábitats. Su importancia radica en cambiar la percepción pública del cocodrilo: de ser visto solo como un peligro o un recurso comercial, a ser reconocido como un "ingeniero de ecosistemas".

Origen

La historia de *Crocodylus moreletii* comienza en 1850 cuando el naturalista francés Pierre Marie Arthur Morelet recolectó los primeros ejemplares en la Laguna de Petén, Guatemala. Dumé-ril, un naturalista francés, describió esta nueva especie de cocodrilo nombrándola en honor a Morelet. La descripción de la especie se realizó con base a dos ejemplares; el ejemplar adulto, el cual fue disecado y exhibido en Paris, y el ejemplar juvenil se envió al *Muséum National d'Histoire Naturelle* después de



Foto: Paul Starosta 2016

haber sido examinado en Paris (Álvarez del Toro y Sigler, 2001).

Durante gran parte del siglo XX, la especie estuvo en un "limbo científico", siendo frecuentemente confundida con el cocodrilo americano (*C. acutus*) o el cubano (*C. rhombifer*). No fue sino hasta 1923 que el herpetólogo Karl Patterson Smith revalidó la especie tras recolectar especímenes en Belice. En México, sus poblaciones sufrieron una drástica disminución debido a la cacería comercial no regulada para el mercado de pieles, lo que llevó al gobierno mexicano a prohibir su aprovechamiento en los años 70. Gracias a estas vedas y esfuerzos de conservación junto con otras acciones como la reproducción en cautiverio y la creación de áreas naturales protegidas, han contribuido positivamente a la recuperación de las poblaciones de la especie. En la actualidad esta especie ha logrado recuperar cerca del 60% de población en 50 años (Buenfil-Rojas et al., 2015).

Anatomía y fisiología

Crocodylus moreletii se distingue morfológicamente por su hocico ancho, cráneo robusto ancho-largo con perfil casi recto (leve convexidad en adultos), Una característica diagnóstica es que el cuarto diente mandibular es visible incluso con la boca cerrada. Alcanza 2-3.5 m promedio (máx. 4.3 m; machos - 200 kg, las hembras alcanzan tallas de 1.5 a 1.7 m en su anchura basal, por lo que existe un dimorfismo sexual entre ellos), con coloración variable de amarillo pálido jaspeado en juveniles a gris-negro en adultos (ventral blanco-amarillento ±bandas, bucal amarillo), fosas nasales/ojos/orejas dorsales, patas cortas membranosas y cola ancha para una mayor movilidad en los cuerpos de agua, dándoles una capacidad explosiva o carrera erguida en tierra. Su piel es muy cotizada en el mercado ya que cuenta con: 27-32 filas ventrales imbricadas, osteodermos mínimos (en su mayoría usada por su alta flexibilidad/resistente para bolsos/zapatos/guantes de alta moda) (Cedeño-Vázquez et al., 2011).

Su longevidad registrada llega hasta 49 años (macho Yucatán en USA en su hábitat natural) o 42 (zoológico o parques), alcanzan la madurez sexual a 1.5 m (silvestre 6-8 años hembras/7-8 machos; cautiverio 4-6 años ambos). La característica más distintiva para identificarlo es la presencia de irregularidades en las escamas de la parte ventral y lateral de la cola (hileras intercaladas o supernumerarias), un rasgo que no posee el *C. acutus* su pariente más cercano con el cual es confundido con frecuencia (Cornejo et al., 2021).

Al igual que otros cocodrilianos, *Crocodylus moreletii* posee un sistema circulatorio especializado, con un corazón de cuatro cavidades con 2 auriculas y 2 ventrículos. A pesar de la división ventricular, existe una mezcla parcial de los dos tipos de sangre a través del agujero de panizza, que comunica las arterias que salen del ventrículo izquierdo con las del derecho. Este rasgo permite la separación de la sangre oxigenada y desoxigenada, esta adaptación le permite regular eficientemente el flujo sanguíneo en función de la temperatura, la actividad o las inmersiones prolongadas.

También puede modificar su frecuencia cardiaca y el diámetro de los vasos sanguíneos para controlar la distribución de oxígeno, durante el asoleamiento, aumentan la circulación periférica para transferir calor hacia el centro del cuerpo en épocas frescas y la disminuyen para reducir la pérdida de calor. Su sistema está especializado en el uso lento de energía y no disponen de oxígeno en abundancia. Ante un esfuerzo rápido, producen ácido láctico y son capaces de soportar niveles de acidez en la sangre que serían mortales para casi cualquier otro animal. Sin embargo, esto causa que se cansen rápido y necesiten mucho tiempo de recuperación (ADEVE, 2006).

El sistema nervioso y los órganos de los sentidos en los cocodrilianos están altamente desarrollados cuentan con un cerebro complejo, aunque pequeño lo cual es una de sus características ya que la capa superficial de la corteza cerebral contiene terminaciones nerviosas relacionadas con la inteligencia y el aprendizaje, el cerebro controla además los sentidos y las acciones voluntarias. La médula controla la actividad de los órganos internos y de las glándulas (ADEVE, 2006) Posee lóbulos diferenciados: el lóbulo olfatorio para el olfato y el lóbulo óptico para la vista, los cocodrilianos como *Crocodylus moreletii* poseen un sentido del olfato bien desarrollado con terminaciones nerviosas olfativas en las cavidades nasales que desembocan en un par de fosas situadas en la cara superior del extremo del hocico, de igual manera poseen un oído desarrollado, con conductos auditivos externos cubiertos por un pliegue de piel móvil cuya función es protegerlo de la entrada de agua durante las inmersiones y un oído interno bien desarrollado con un mecanismo asegurado por un hueso (el estribillo).

Los ojos de los cocodrilianos son los típicos en los vertebrados con un glóbulo ocular rígido y esférico con una retina que es sensible a la luz, los ojos están dispuestos lateralmente en la parte superior de la cabeza, poseen una pupila vertical que durante las noches se dilata para admitir más luz, una adaptación que poseen es la capa reflectora,

que se encuentra detrás de la retina. Las células del tapetum contienen cristales de guanina, que forman una capa semejante a un espejo, capaz de reflejar la mayor parte de la luz recibida y devolverla a las células receptoras del ojo, esto les ayuda a captar el más mínimo movimiento de alguna presa o amenaza que pueda haber en su entorno (ADEVE, 2006).

Alimentación y reproducción

El cocodrilo de Morelet es un cazador oportunista y carnívoro estricto que adapta su dieta según su tamaño. El metabolismo y el sistema digestivo de los cocodrilianos son considerados de los más eficientes en el reino animal, permitiéndoles sobrevivir en condiciones extremas y optimizar al máximo la energía obtenida de sus presas, un cocodrilo recién nacido puede sobrevivir más de cuatro meses sin comer usando los restos de su saco vitelino, mientras que un adulto de gran tamaño puede ayunar hasta por dos años (que se le conoce como etapa de brumación o hibernación).

La alimentación varía en las distintas etapas de crecimiento, en correspondencia con la talla, incluyendo desde arañas e insectos acuáticos, caracoles, crustáceos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. También se les ha visto practicando canibalismo y necrofagia. Utilizan piedras en el tracto digestivo llamadas gastrolitos para ayudar a macerar el alimento, ya que carecen de dientes trituradores y suelen tragar a sus presas enteras o en grandes trozos. También se asocia que estas piedras funcionan como lastre para la inmersión en los cuerpos de agua. Actualmente se sabe de la existencia de poblaciones de la especie genéticamente puras, pero también se conocen poblaciones que presentan hibridación con *Crocodylus acutus,* ya que en dichos sitios las poblaciones son simpátricas (Beltrán, 1969).

Esta especie alcanza la madurez sexual cuando los machos llegan a medir 1.5 m de longitud, y las hembras un poco menos. El cortejo inicia generalmente a finales de febrero e inicios de marzo, con una serie de conductas y desplantes. Después de un periodo que puede ser de unos días a varias semanas posteriores a la cópula, la hembra excava el suelo del sitio seleccionado y construye su nido en forma de montículo acumulando el material circundante como hojarasca, plantas, tierra, arena, humus, trozos de madera, conchas de moluscos, basura, etc. En algunas lagunas, las hembras pueden anidar sobre tapetes de vegetación flotante.

El montículo mide en promedio 50 cm de alto y 1.5 m de diámetro. Cuando las hembras viven junto a la zona de dunas costeras, pueden anidar haciendo en un hoyo en la arena. La temporada de anidación inicia desde mayo hasta Julio. La cámara de los huevos se ubica a 30 cm de la cúspide y puede contener de 20 a 50 huevos de cascara dura. Los huevos pesan alrededor de 70 g y miden 69 mm de diámetro mayor por 41 mm de diámetro menor. La incubación dura alrededor de 78 días y la hembra asiste a las crías al nacer destapando el nido y llevando a los neonatos a la orilla del cuerpo de agua. Las crías miden al nacer entre 230 y 250 mm de longitud total, con un peso de 40 a 50 g. El crecimiento de las crías es de hasta 0.5 milímetros por día cuando son jóvenes y de hasta 0.25 mm cuando son adultos (Casas-Andreu, 1994).

La temperatura de incubación durante las primeras etapas es determinante para el desarrollo embrionario, ya que define si el individuo será macho o hembra. Aunque este umbral varía entre especies, en general los cocodrilianos incuban sus huevos alrededor de los 30 °C. Sin embargo, cuando las temperaturas se mantienen por debajo de 27 °C o superan los 34 °C durante periodos prolongados, se incrementa la mortalidad embrionaria en la mayoría de las especies (Piña y Larriera, 2002).

Hábitat

En México se encuentra cerca del 88% del área de distribución de esta especie y los principales registros de su distribución de encuentra en cuerpos de agua dulce como: pantanos, ciénegas, ríos con corriente lenta, manglares, lagunas y humedales costeros, entre otros. Es una especie de fácil adaptación a cambios que pueda haber en su hábitat por lo que es posible llegar a encontrarlos incluso cerca de zonas urbanas (o el océano) como es el caso del estado de Tabasco y Quintana Roo (Cedeño-Vázquez, 2008).

El área ocupada por la especie en los tres países de su distribución es de 450 000 km², teniendo en México la mayor parte de esta superficie. La altitud promedio donde se encuentra la especie es menor a los 500 m en sitios con temperaturas medias anuales entre 26 y 28°C y donde la temperatura mínima no es inferior a los 18°C, con precipitaciones entre los 600 y 4000 mm. Los registros de localidades para la especie se han incrementado recientemente conforme se ha intensificado el estudio de las poblaciones silvestres. *Crocodylus moreletii* habita una gran variedad de hábitats (Platt y Thorbjarnarson, 2000).

En Mexico se registró la especie para los estados de: Campeche, Chiapas, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. La superficie disponible y la incluida en ANP para *Crocodylus moreletii* en estados del sureste mexicano como Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, suma más de 4 millones de

hectáreas (Cedeño-Vázquez et al., 2006). Prefiere hábitats de agua dulce como pantanos, marismas, manglares, ríos lentos/rápidos, lagunas, esteros, cenotes y canales artificiales (ocasionalmente salobre), con vegetación flotante - emergida y presas abundantes; en épocas de lluvias expande su rango de distribución.

Importancia

Como especie clave e ingeniero de humedales, *C. moreletii* regula biodiversidad trófica (homeostasias presas acuáticas/terrestres), mantiene canales abiertos para flujo/mezcla hídrica, excava charcas riberas como refugios en épocas de sequía (crucial para la fauna), recicla nutrientes vía excretas/ descomposición, transporta propágulos vegetales/ microrganismos, modela paisaje y flujos hídricos y eleva resiliencia climática ante sequías. Su ausencia genera un vórtice de extinción local, disrupción ecosistémica y pérdida de servicios (e.g., Pantanos Centla, Tabasco). Indicador eco-toxicológico; salud: perfil hemático - química sanguínea, parasitosis - bacterias, condición por masa-diámetro cola (Brochu, 2002; López-Luna et al., 2011).

Desde tiempo inmemorial, explotados por mitos/ carne/pieles; su pico fue el siglo XX (1940s-1960s): demanda global pieles ventrales (procesamiento fácil), México exportador masivo causando declive severo - riesgo extinción, el proceso ilegal persistió entre 1970 y 1990 pese veda - 1970, uso rural tradicional. Sus desplazamientos cotidianos mantienen abiertos canales secundarios, lo que propicia la mezcla y el flujo libre de las aguas, y en ciertos entornos, las excavaciones que efectúan los cocodrilos cerca de las riberas pueden promover la permanencia de charcas, las cuales resultan cruciales para otras formas de vida, especialmente en ambientes sometidos a una presión ambiental (CONANP, 2009).

Conclusiones

El análisis de *Crocodylus moreletii* reafirma su posición no solo como un sobreviviente evolutivo, sino como una pieza insustituible para la estabilidad de los humedales de México y la Península de Yucatán. La importancia trófica del cocodrilo mexicano en ecosistemas costeros radica en su papel dual: como depredador tope, que regula de forma directa el equilibrio de las poblaciones de organismos que comparten hábitat con él y paralelamente, al actuar como un "ingeniero del ecosistema" ya que sus hábitos de desplazamiento y excavación modifican positivamente la dinámica hídrica y crean refugios críticos para la biodiversidad durante las temporadas de sequía (López-Luna et al., 2011).

Tras haber superado una crisis poblacional drástica en el siglo XX causada por la explotación peletera, la notable recuperación del 60% de sus poblaciones en las últimas décadas demuestra la efectividad de las vedas y los programas de conservación actuales.

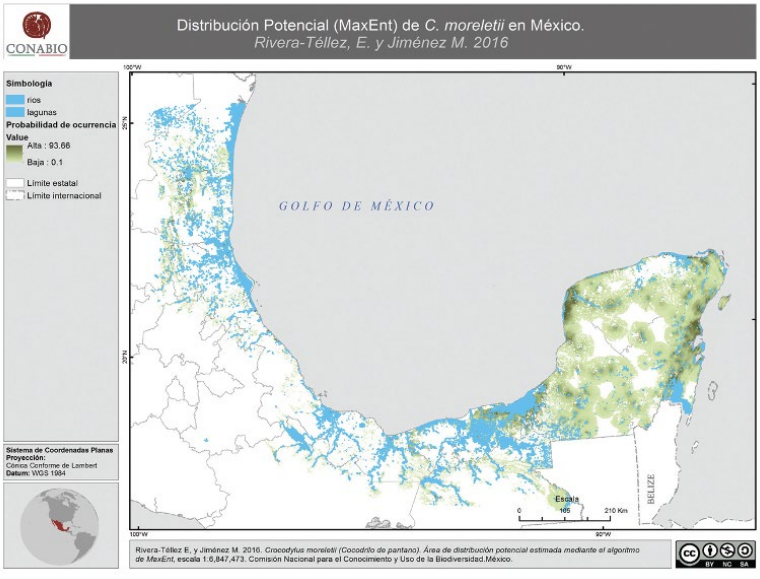


Figura 1. Mapa de distribución potencial realizado con el algoritmo de MaxEnt para cocodrilo de pantano C. moreletii. En tonos de verde se denota la probabilidad de ocurrencia determinada por el modelo generado de 0 a 1 (1 = 10 000). En azul se indican los cuerpos de agua (22 833 km lineales) que se encuentran en contacto con el modelo de distribución potencial generado y que por tanto corresponden al hábitat potencial de la especie. Fuente: tomado de Trejo et al., 2021.

Sin embargo, el verdadero reto para garantizar su resiliencia a largo plazo se basa en la educación y la transformación de la percepción social. Es indispensable dejar de visualizar a *Crocodylus moreletii* únicamente como un peligro potencial o un recurso comercializable, y comenzar a valorarlo como un indicador eco toxicológico de la salud ambiental y un pilar biocultural fundamental para la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas costeros de México.

Referencias

Álvarez del Toro, M. (1974). Los Crocodylia de México (Estudio comparativo). Instituto Mexicano de los Recursos Naturales Renovables, A. C. México, D. F.

Alvarez del Toro, M. y L. Sigler. (2001). Los Crocodylia de Mexico. IMRNR-PROFEPA. Mexico, D.F.

Asociación para la Defensa de las Especies en Vías de Extinción (ADEVE). (2006). *Cocodrilos del mundo*. Disponible en: http://adeve.es/libro15_1.html

Beltrán E. (1969). Crocodile conservation: two Mexican projects. *Biological Conservation* 1(2): 180-181.

Brochu, C. A. (1999). Phylogenetics, taxonomy, and historical biogeography of Alligatoroidea. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 19(S2), 9-100.

Brochu, C. A. (2003). Phylogenetic approaches toward crocodylian history. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 31(1), 357-397.

Buenfil-Rojas, AM, Álvarez-Legorreta, T., & Cedeño-Vázquez, JR (2015). Metales y metalotioneínas en el cocodrilo de Morelet (Crocodylus moreletii) de un río transfronterizo entre México y Belice. *Archives of environmental pollution and toxicology, 68* (2), 265-273.

Casas-Andreu, G., Barrios-Quiroz, G., & Macip-Ríos, R. (2011). Reproducción en cautiverio de Crocodylus moreletii en Tabasco, México. *Revista mexicana de biodiversidad, 82*(1), 261-273.

Cedeño-Vázquez, J. R., González-Ávila, F., & Castro-Pérez, J. M. (2011). Condición corporal del cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en el Río Hondo, Quintana Roo, México. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(11), 19–26.

Cedeño-Vázquez, J.R. (2008). Genética de poblaciones, flujo genético e hibridación de *Crocodylus acutus* y *C. moreletii* en la Península de Yucatán, México. Unpublished PhD Thesis, El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México.

Cedeño-Vázquez, J.R., Ross, J.P. and Calmé, S. (2006). Population status and distribution of *Crocodylus acutus* and *C. moreletii* in southeastern Quintana Roo, Mexico. Herpetological Natural History 10(1): 17-30.

CONABIO. (2010). Taller Trinacional México-Guatemala-Belice sobre el Programa de Monitoreo del Cocodrilo de Pantano (*Crocodylus moreletii*), 2010. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/internacionales/archivos/I%20Reunin%20GEC%202010.pdf

CONANP, Laguna de Términos, y DAMABIAH S.C. (2009). Estudio de monitoreo y conservación del *Crocodylus moreletii* en la comunidad de Santa Isabel, Palizada. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfRE002.pdf

Cornejo, A., Gómez-Hernández, Y., Gómez-Álvarez, G., González-Rebeles, C., Ulloa-Arvízu, R., & Villegas, A. (2021). Percepción y conocimiento popular sobre los cocodrilos en el "Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Nichupté", Quintana Roo, México. *Acta zoológica mexicana* (N.S.), 37(1), 1–14. https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712258

García-Grajales, J., & Buenrostro-Silva, A. (2017). Estimación poblacional del cocodrilo americano (Crocodylus acutus) en el Parque Nacional Lagunas de Chacahua, Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 936-943.

López-Luna, M. A., Hidalgo-Mihart, M. G., & Aguirre-León, G. (2011). Descripción de los nidos del cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii* en un paisaje urbanizado en el sureste de México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), 27(1), 1–16. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372011000100001

Piña, C., & Larriera, A. (2002). Caiman latirostris growth: the effect of a management technique on the supplied temperature. *Aquaculture*, 211(1-4), 387-392.

Platt, S.G. and Thorbjarnarson, J.B. (2000). Population status and conservation of Morelet's crocodile *Crocodylus moreleti*i, in northern Belize. Biol. Conserv. 96 (1): 21-29.

Rodríguez, M. A. (2000). Cocodrilos (*Archosauria: Crocodylia*) *de la región neotropical. Biota Colombiana*, 1(2), 135–140.

Sereno, PC, Larsson, HC, Sidor, CA, & Gado, B. (2001). El crocodiliforme gigante Sarcosuchus del Cretácico de África. *Science , 294* (5546), 1516-1519.

Sigler L. & J. Gallegos M. (2017). El conocimiento sobre el cocodrilo de Morelet Crocodylus moreletii (Duméril y Duméril 1851) en México, Belice y Guatemala. México, D.F. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/planeta/cites/files/Cocodrilo_Morelet_Bajav1.pdf

Trejo, J. R., González, P. O., & Camacho, H. M. (2021). Estimación poblacional de Crocodylus moreletii en cuatro sitios de la Reserva de Biósfera Pantanos de Centla. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8*(1), 7.

Fecha de recepción: 01/06/2026
Fecha de aceptación: 10/06/2026

Diseño conceptual de una plataforma *open source* con inteligencia artificial para ventas en pequeños negocios

Zaldivar Yerbes Sergio Manuel[1]
Ramírez Pulido Juan Ramón
Pérez Rejón José Ángel

Resumen

Diseño conceptual de una plataforma open source con integración de inteligencia artificial y analítica predictiva orientada a la gestión de ventas en pequeños negocios. El problema planteado se origina de una situación frecuente: muchos negocios utilizan canales digitales para vender, pero continúan administrando productos, pedidos, inventario y clientes mediante registros dispersos, hojas de cálculo o aplicaciones de mensajería, lo que limita el análisis de información y la toma de decisiones comerciales. La metodología correspondió a un enfoque de diseño tecnológico aplicado organizado en cuatro fases: análisis del problema, diseño de la arquitectura por capas, definición de módulos funcionales y elaboración de un prototipo no funcional en Figma. Como resultado, se obtuvo una propuesta conceptual que plantea la integración de catálogo digital, carrito de compras, panel administrativo, tablero de ventas, predicción de demanda y sugerencias inteligentes. El prototipo no fue implementado funcionalmente ni validado con datos reales o usuarios finales, por lo que sus resultados deben entenderse como viabilidad conceptual. La propuesta permite visualizar de qué manera los datos generados por ventas, inventario y comportamiento de usuarios podrían convertirse en información útil para la organización comercial y la toma de decisiones en pequeños negocios, una vez que la plataforma sea desarrollada e implementada.

Palabras clave:

comercio electrónico, inteligencia artificial, analítica predictiva, pequeños negocios, prototipo.

ABSTRACT

The conceptual design of an open source platform integrating artificial intelligence and predictive analytics is presented, aimed at supporting sales management in small businesses. The problem addressed stems from a frequent situation: many businesses use digital channels to sell, but continue managing products, orders, inventory, and customers through dispersed records, spreadsheets, or messaging applications, which limits information analysis and commercial decision-making. The methodology followed an applied technological design approach organized in four phases: problem analysis, layered architecture design, functional module definition, and the development of a non-functional prototype in Figma. As a result, a conceptual proposal was obtained that envisions the integration of a digital catalog, shopping cart, administrative panel, sales dashboard, demand prediction, and intelligent suggestions. The prototype was not functionally implemented nor validated with real data or end users; therefore, its results should be understood as conceptual feasibility. The

[1] Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ciencias de la Información.

proposal illustrates how data generated from sales, inventory, and user behavior could be transformed into useful information for commercial organization and decision-making in small businesses, once the platform is developed and implemented.

Keywords: e-commerce, artificial intelligence, predictive analytics, small businesses, prototype.

Introducción

El comercio electrónico se ha convertido en una alternativa relevante para pequeños negocios que buscan ampliar sus canales de venta, mantener contacto con sus clientes y organizar mejor su oferta de productos. Sin embargo, vender por medios digitales no significa necesariamente contar con una gestión comercial estructurada. En muchos casos, los negocios utilizan redes sociales, catálogos digitales, hojas de cálculo o aplicaciones de mensajería para atender pedidos, pero continúan administrando inventario, ventas y clientes de manera dispersa.

Esta situación limita el aprovechamiento de los datos que se generan en la operación diaria. Cada pedido, búsqueda, producto consultado o movimiento de inventario produce información que podría ser útil para tomar decisiones, pero su valor disminuye cuando no se registra, organiza o analiza adecuadamente. De acuerdo con OECD (2021), las pequeñas y medianas empresas enfrentan barreras para aprovechar plenamente la transformación digital, entre ellas la falta de recursos internos, limitaciones financieras y carencias de habilidades digitales.

La digitalización de las PYMES ha sido estudiada desde diversas perspectivas académicas. Nambisan et al. (2019) señalan que la adopción de tecnologías digitales en empresas pequeñas no depende únicamente de la disponibilidad de herramientas, sino también de capacidades organizacionales para integrarlas en los procesos de negocio. En contextos de recursos limitados, esto representa un reto particular, ya que muchos pequeños negocios carecen del personal técnico o financiero para implementar soluciones complejas. González Torres et al. (2025) identifican que muchas micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes) se mantienen en etapas iniciales de digitalización y que su avance se ve limitado por barreras como la falta de infraestructura adecuada, la escasez de capacitación en el uso de herramientas digitales y una cultura empresarial poco orientada hacia la innovación tecnológica.

Desde el campo del comercio electrónico, investigaciones recientes destacan que las plataformas de código abierto (open source) ofrecen ventajas específicas para negocios con restricciones presupuestarias. Ecommerce platforms of open source type allow businesses to customize workflows without license costs, though their adoption requires technical competence (Turban et al., 2018). Más allá del costo, la flexibilidad de adaptación representa un factor diferenciador frente a soluciones propietarias. Indiani et al. (2025) plantean que la adopción del comercio electrónico en PYMES depende de factores tecnológicos, organizacionales y del entorno, así como de la percepción de utilidad, facilidad de uso y riesgos asociados al uso de plataformas digitales.

Además de las limitaciones económicas y técnicas, muchos pequeños negocios enfrentan dificultades para transformar sus actividades digitales en procesos administrativos ordenados. La adopción de redes sociales, catálogos en línea o aplicaciones de mensajería puede incrementar la visibilidad del negocio, pero no necesariamente mejora el control interno de ventas, inventario, clientes y pedidos. Por ello, la digitalización no debe entenderse únicamente como presencia en internet, sino como la capacidad de registrar, organizar y analizar información útil para la operación comercial.

Bajo esta perspectiva, el aprovechamiento de los datos comerciales se vuelve un elemento estratégico. Cuando la información permanece dispersa, el negocio depende principalmente de la experiencia del propietario o del personal operativo para decidir qué productos reponer, qué artículos promover o cómo identificar cambios en la demanda. En cambio, una plataforma que centraliza la información puede convertir las operaciones diarias en indicadores útiles, facilitando decisiones más oportunas y reduciendo la dependencia de registros manuales o fragmentados.

En este contexto, las plataformas de comercio electrónico open source representan una opción viable para pequeños negocios, ya que permiten adaptar la solución a necesidades específicas sin depender totalmente de herramientas cerradas. PrestaShop (s. f.) plantea que una plataforma open source puede descargarse, modificarse y utilizarse para construir tiendas en línea, lo que facilita la personalización y ampliación de funciones conforme evoluciona el negocio. Asimismo, estudios sobre inteligencia artificial aplicada a pequeños negocios sugieren que la accesibilidad de herramientas de aprendizaje automático y servicios en la nube ha reducido la brecha entre grandes empresas y negocios de menor escala en términos de capacidad analítica. Sánchez et al. (2025) señalan que la adopción de inteligencia

artificial en PYMES debe analizarse considerando tanto el potencial de la tecnología como las condiciones reales de implementación, entre ellas la disponibilidad de recursos, la preparación organizacional, la infraestructura tecnológica y la necesidad de orientar su uso de manera responsable.

El objetivo general del presente trabajo es: "Diseñar conceptualmente una plataforma *open source* para la gestión de ventas en pequeños negocios, integrando arquitectura por capas, base de datos, analítica predictiva e inteligencia artificial mediante un prototipo no funcional". Delimita los resultados al plano del diseño y la viabilidad conceptual, sin incluir implementación funcional, pruebas con usuarios reales ni validación con datos operativos reales

A partir de lo anterior, este artículo presenta el diseño de una plataforma open source con inteligencia artificial para ventas en pequeños negocios. Esta propuesta integra una arquitectura por capas, base de datos en PostgreSQL, módulos de front end y back end, dashboard de ventas, predicción de demanda y recomendaciones inteligentes. El propósito es mostrar cómo una solución tecnológica podría pasar de ser una tienda en línea básica a convertirse en una herramienta de gestión comercial apoyada por datos, como base para una futura implementación funcional.

Métodos

El presente trabajo corresponde a una investigación aplicada de tipo proyectual con enfoque de diseño tecnológico. Este tipo de enfoque se caracteriza por orientar el proceso metodológico hacia la construcción de una propuesta técnica viable, organizada mediante fases sucesivas de análisis, diseño, especificación y representación visual, sin requerir la implementación funcional como condición del resultado. Este enfoque es congruente con la investigación basada en ciencia del diseño, ya que permite desarrollar artefactos tecnológicos con rigor académico y relevancia práctica, especialmente cuando se busca proponer, estructurar y justificar soluciones digitales antes de su implementación funcional (Huseynli et al., 2022).

Para organizar el proceso metodológico, el trabajo se dividió en cuatro fases: (1) análisis del problema, (2) diseño de la arquitectura, (3) definición de módulos funcionales y (4) elaboración del prototipo no funcional. En la primera fase se identificaron las necesidades principales de gestión comercial en pequeños negocios; en la segunda se estructuró la solución mediante un modelo por capas; en la tercera se determinaron los componentes de usuario, administración, base de datos e inteligencia artificial; y en la cuarta se representó visualmente la propuesta mediante pantallas de navegación y configuración técnica elaboradas en Figma.

Cabe señalar que el alcance metodológico no incluyó el levantamiento de requerimientos con usuarios reales, la selección de casos de estudio específicos, ni la definición de instrumentos de validación externa. De igual modo, no se realizaron pruebas de usabilidad con usuarios finales, pruebas de desempeño del sistema, ni entrenamiento o evaluación de modelos predictivos con datos reales de operación. Estas actividades constituyen limitaciones declaradas del trabajo y quedan planteadas como tareas necesarias en una etapa posterior de desarrollo e implementación.

Posteriormente se diseñó la arquitectura general de la plataforma bajo un modelo por capas. Esta arquitectura consideró: (a) una capa de presentación desarrollada con Next.js para la interacción de usuarios y visualización de información; (b) una capa de aplicación construida con NestJS encargada de procesar operaciones, gestionar reglas de negocio y exponer servicios mediante APIs REST; (c) una capa de datos basada en PostgreSQL para el almacenamiento estructurado de la información; y (d) una capa de analítica predictiva e inteligencia artificial apoyada en servicios de *Google Cloud*, utilizando *Vertex AI* y modelos generativos como *Gemini Flash.*

La selección de cada tecnología respondió a criterios específicos. Next.js fue elegido por su capacidad de renderizado híbrido (estático y en servidor), su ecosistema activo y su integración nativa con *React*, lo que facilita la construcción de interfaces de usuario reactivas y de carga rápida. NestJS fue seleccionado por su arquitectura modular inspirada en Angular, que favorece la separación de responsabilidades y la escalabilidad del *back end* mediante módulos independientes para cada dominio funcional. PostgreSQL fue considerado como sistema gestor de base de datos por su carácter *open source*, su robustez relacional y su capacidad para administrar información estructurada de productos, clientes, pedidos, inventario y registros analíticos (PostgreSQL Global Development Group, s. f.). *Docker y Docker Compose* fueron incorporados para simplificar el despliegue en entornos VPS, permitiendo la orquestación automatizada de los servicios del sistema. Finalmente, *Vertex AI y Gemini Flash* fueron seleccionados como servicios de inteligencia artificial en la nube por su accesibilidad mediante API, su soporte para modelos generativos y

de predicción, y su compatibilidad con arquitecturas orientadas a microservicios.

El diseño conceptual consideró aspectos fundamentales de seguridad y tratamiento responsable de datos, dado que la plataforma contempla información de clientes, pedidos e historial de ventas, todos ellos datos de carácter personal. Conforme a la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, s. f.), la plataforma deberá observar los principios de consentimiento informado, finalidad delimitada y proporcionalidad en el tratamiento de datos. En términos de seguridad de la aplicación, el diseño prevé la adopción de buenas prácticas señaladas por OWASP Foundation (2021) en su catálogo OWASP Top 10, entre las que destacan la protección contra inyección de código, la gestión segura de sesiones y la validación de entradas de usuario. Específicamente, el manejo de credenciales —como claves de base de datos y *tokens* de acceso a servicios de *Google Cloud*— deberá implementarse mediante variables de entorno, evitando su codificación directa en el código fuente (*hardcoding*). Asimismo, la comunicación entre componentes deberá realizarse sobre HTTPS para garantizar el cifrado en tránsito de la información sensible.

Además, el diseño deberá contemplar mecanismos de control de acceso por roles, de manera que el administrador, el usuario operativo y el cliente final solo puedan acceder a las funciones e información correspondientes a su perfil. Las contraseñas de los usuarios no deberán almacenarse en texto plano, sino mediante funciones hash seguras. De igual forma, las credenciales técnicas, claves de API y *tokens* de servicios externos deberán mantenerse fuera del código fuente y gestionarse mediante variables de entorno o mecanismos de administración de secretos. En materia de protección de datos, la plataforma deberá limitar la recolección de información personal a los datos estrictamente necesarios para gestionar pedidos, historial de compras, recomendaciones y analítica interna. También deberá incorporar aviso de privacidad, consentimiento informado y medidas para atender derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición cuando correspondan.

En la parte de *front end* se definieron los usuarios principales de la plataforma: administrador del negocio, cliente final y usuario operativo. Con base en estos perfiles se establecieron las pantallas y módulos principales: catálogo, carrito de compras, panel administrativo, dashboard de ventas, predicción de demanda y recomendaciones inteligentes. Esta definición permitió separar las funciones visibles para el cliente de las herramientas de gestión utilizadas por el administrador.

En el *back end* se propuso una estructura modular desarrollada con NestJS, integrada por un servidor de aplicación, una API de comunicación REST, un manejador de base de datos y módulos especializados para productos, ventas, pedidos, inventario, analítica predictiva e inteligencia artificial. Esta arquitectura modular permitiría (una vez implementada) organizar la lógica de negocio de manera escalable, facilitando el mantenimiento, la integración de nuevos servicios y la separación de responsabilidades dentro del sistema.

La estructura de datos prevista para la plataforma contempla información relacionada con productos, categorías, precios, existencias, clientes, pedidos, fechas de compra, cantidades vendidas y comportamiento de navegación. Estos datos fueron considerados como insumos potenciales para la generación de indicadores comerciales y futuros modelos de predicción. La organización de esta información permite proyectar escenarios de análisis relacionados con productos de mayor demanda, artículos con baja rotación, variaciones en ventas por periodo y posibles necesidades de reposición de inventario.

Finalmente, se elaboró un prototipo no funcional en Figma. Este prototipo representó visualmente la tienda digital, el carrito de compras, el panel administrativo neoPOS, el *dashboard* de analíticas, la predicción de ventas, las recomendaciones de *stock*, la configuración de PostgreSQL y la integración con servicios de inteligencia artificial. El prototipo no ejecuta operaciones reales, su función fue validar la coherencia lógica de la navegación y la correspondencia entre los módulos propuestos, los perfiles de usuario y la arquitectura técnica definida.

En síntesis, el alcance del trabajo corresponde exclusivamente al diseño conceptual y técnico de un prototipo no funcional. Los resultados deben interpretarse en términos de viabilidad conceptual: se demuestra que la propuesta es coherente, técnicamente fundamentada y estructuralmente articulada, pero no se valida su eficacia operativa.

La comprobación de la eficacia de la plataforma, en términos de desempeño, usabilidad, precisión predictiva e impacto en la gestión comercial, queda planteada como objetivo de una etapa posterior de desarrollo e implementación funcional.

Resultados y discusión

El principal resultado del proyecto fue el diseño de una plataforma open source orientada a la gestión de ventas en pequeños negocios, con integración de analítica predictiva e inteligencia artificial. La propuesta plantea una estructura que, de ser implementada, estaría en condiciones de conectar la experiencia de compra del cliente con la administración interna del negocio y el aprovechamiento de datos comerciales.

Desde el punto de vista técnico, la arquitectura por capas permitió organizar la solución de manera clara. En la capa de presentación se concentra la interacción visual del cliente y del administrador; en la capa de aplicación se procesan las operaciones del sistema; en la capa de datos, basada en PostgreSQL, almacena información de productos, clientes, pedidos, inventario e historial de ventas; y la capa de analítica predictiva e inteligencia artificial utilizaría esa información como base para generar estimaciones y recomendaciones. Esta división resulta conveniente porque evita que la plataforma dependa de un solo componente y facilita una futura implementación modular.

Para un pequeño negocio, esta separación podría traducirse en una plataforma más ordenada, donde la experiencia del cliente, la administración interna, el almacenamiento de datos y los servicios inteligentes no dependen de un solo componente. Además, este diseño facilitaría que la solución pueda crecer por etapas, incorporando primero funciones básicas de venta y posteriormente módulos de análisis, predicción o recomendación conforme aumente la información disponible.

Uno de los elementos más importantes del diseño fue la base de datos. PostgreSQL se definió como manejador principal dado que la información del negocio requiere relaciones entre productos, categorías, clientes, pedidos, detalle de ventas, inventario, predicciones y recomendaciones. Esta estructura permitiría que cada venta no quede como un registro aislado, sino como parte de un historial que puede consultarse para construir indicadores o alimentar futuros procesos analíticos.

En el *front end*, el resultado fue la definición de una interfaz separada por perfiles de usuario. El cliente final interactúa con el catálogo, filtros, carrito de compras y recomendaciones inteligentes. El administrador, por su parte, accedería a un panel de gestión donde podría revisar productos, pedidos, inventario, ventas y analíticas. Esta separación responde a que cada perfil requiere información y funciones distintas.

El prototipo no funcional elaborado en Figma permitió visualizar esta propuesta de manera más concreta. En la vista del cliente se representó el flujo básico de compra mediante catálogo, tarjetas de producto, carrito y pago simulado. En la vista administrativa se desarrolló el panel neoPOS, con accesos a terminal, inventario, historial, analíticas, personal y ajustes. Esta representación visual permitió verificar que la solución puede organizarse de forma comprensible para los usuarios, aun sin estar programada funcionalmente.

La figura 1 muestra la vista del catálogo y carrito de compras del prototipo. Esta pantalla representa la experiencia del cliente y permite observar cómo se presentaría la oferta de productos, la selección de artículos y el cierre del pedido mediante una simulación de pago.

En el módulo administrativo, el *dashboard* de analíticas representa uno de los aportes más relevantes de la propuesta. La pantalla contempla indicadores como ingresos totales, número de transacciones, *ticket* promedio, tendencia de ventas diarias, predicción de ventas, recomendaciones de *stock* y alertas de baja rotación. Estos elementos plantean la posibilidad de que la plataforma, una vez implementada, funcione como una herramienta de lectura comercial para el negocio, yendo más allá de la simple transacción digital.

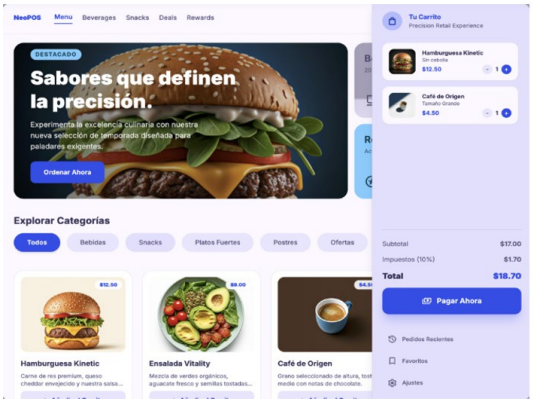


Figura 1. Vista del catálogo y carrito de compras del prototipo. Fuente: propia

La figura 2 muestra el *dashboard* de analítica predictiva y recomendaciones de *stock*. Este componente representa uno de los resultados conceptuales centrales de la propuesta: plantea cómo los registros comerciales podrían convertirse en indicadores visuales para apoyar la toma de decisiones. En lugar de revisar ventas, inventario y pedidos de manera aislada, el administrador podría

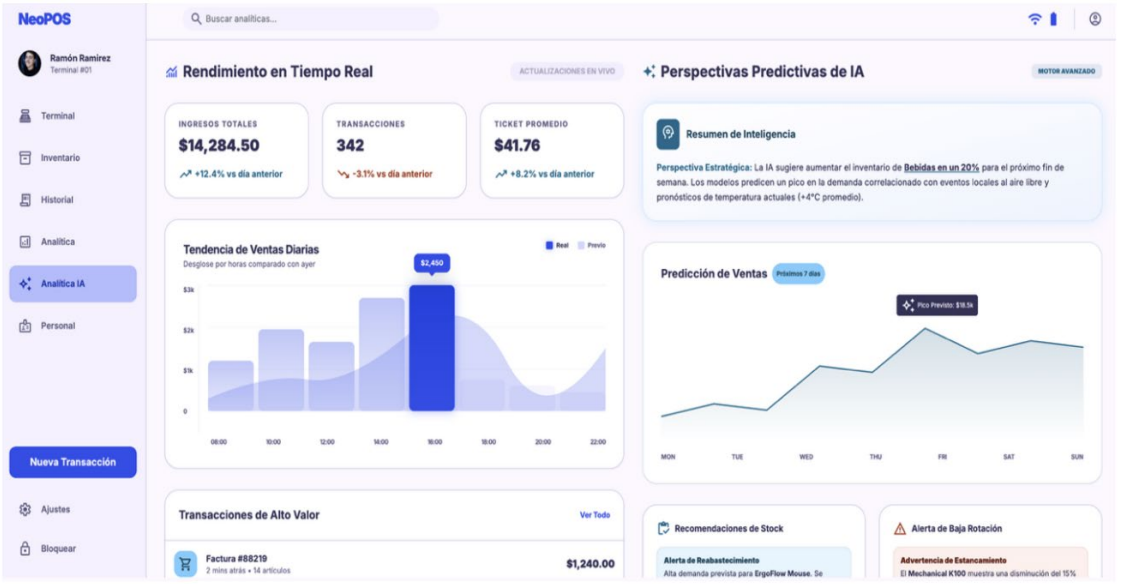


Figura 2. Dashboard de analítica predictiva y recomendaciones de stock.
Fuente: propia

observar tendencias, alertas y posibles necesidades de reposición desde una misma interfaz.

La integración de inteligencia artificial se plantea principalmente mediante recomendaciones inteligentes y predicción de demanda. En el caso del cliente, las recomendaciones podrían apoyar la navegación y sugerir productos relacionados. En el caso del administrador, la predicción de demanda y las recomendaciones de stock podrían apoyar decisiones sobre reposición, promociones y control de inventario. Este enfoque coincide con lo señalado por Valencia-Arias et al. (2024), quienes destacan que los sistemas de recomendación en comercio electrónico pueden mejorar la experiencia del usuario y apoyar procesos de decisión.

En términos de discusión más amplia, la propuesta se inscribe en una tendencia documentada en la literatura académica: la democratización de las herramientas de inteligencia artificial ha abierto posibilidades para negocios de menor escala que antes no contaban con acceso a estas capacidades analíticas. Sin embargo, la brecha entre el potencial tecnológico y la adopción efectiva en pequeños negocios sigue siendo significativa. OECD (2021) documenta que, si bien la transformación digital representa una oportunidad de crecimiento para las PYMES, la brecha digital interna (en términos de habilidades, infraestructura y procesos) continúa siendo una barrera relevante. La propuesta presentada en este trabajo busca reducir esa brecha mediante un diseño accesible, modular y open source; no obstante, su impacto real no puede afirmarse sin una implementación y evaluación empírica. Oldemeyer et al. (2024) señalan que las PYMES han comenzado a reconocer el potencial de la inteligencia artificial; sin embargo, su implementación todavía enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad de datos, la falta de conocimiento especializado, los costos, la infraestructura tecnológica y la necesidad de apoyo organizacional para integrar estas soluciones de manera efectiva.

Otro resultado importante fue la incorporación de pantallas de configuración técnica orientadas a facilitar la instalación y puesta en marcha inicial de la plataforma. El prototipo incluyó una vista para la configuración y conexión con PostgreSQL, así como una sección destinada a la integración con servicios de inteligencia artificial de *Google Cloud* mediante *Vertex AI* y modelos como *Gemini Flash.* Su presencia en el prototipo permite demostrar que el diseño visual está alineado con una arquitectura técnica previamente definida, y no únicamente con una interfaz decorativa.

La figura 3 representa la configuración técnica de PostgreSQL y la integración de inteligencia artificial. Su inclusión en el prototipo es conceptualmente notable porque una solución *open source* debe contemplar la facilidad de instalación, conexión con servicios externos y administración inicial de componentes técnicos.

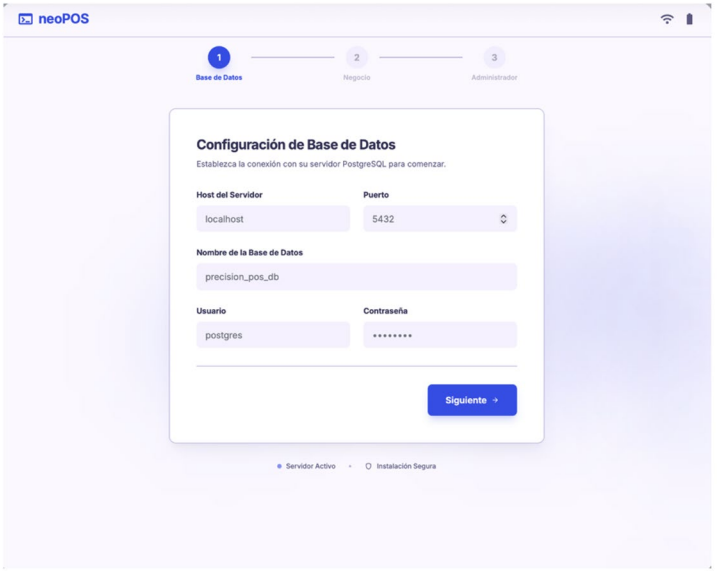


Figura 3. Configuración técnica de PostgreSQL e integración de inteligencia artificial.
Fuente: propia

En conjunto, las tres figuras permiten observar la relación entre los componentes principales de la propuesta: la experiencia de compra del cliente, el análisis administrativo y la configuración técnica del sistema. Esta integración confirma que el diseño no se limita a una interfaz visual aislada, sino que responde a una lógica de operación completa que podría ser desarrollada en una etapa posterior.

En términos de discusión, la propuesta demuestra la viabilidad conceptual de integrar comercio electrónico, base de datos, visualización de indicadores, analítica predictiva e inteligencia artificial dentro de una misma arquitectura open source orientada a pequeños negocios. Sin embargo, cabe mencionar que el proyecto mantiene un alcance estrictamente acotado: no se afirma que el prototipo reduzca costos, aumente ventas o prediga demanda con precisión, dado que no existe implementación funcional ni datos reales de operación. La eficacia de la solución deberá comprobarse en una etapa posterior mediante métricas como tiempo de carga del catálogo, actualización correcta de inventario, precisión de predicción de demanda y aceptación de recomendaciones por parte de los usuarios. Aun con estas limitaciones, el diseño permite establecer una base técnica articulada para una futura implementación.

Conclusiones

El presente trabajo correspondió al diseño conceptual de un prototipo no funcional de plataforma *open source* con inteligencia artificial para la gestión de ventas en pequeños negocios. En este marco, los resultados obtenidos deben entenderse como viabilidad conceptual y técnica, no como evidencia de eficacia operativa. A partir de ello, es posible concluir que una solución de comercio electrónico puede ser pensada para ir más allá de la simple publicación de productos en línea, integrando arquitectura por capas, base de datos estructurada, panel administrativo y módulos de análisis dentro de una misma propuesta tecnológica.

El diseño desarrollado plantea que los datos generados por ventas, inventario, pedidos y comportamiento de usuarios podrían convertirse en insumos relevantes para mejorar la operación de pequeños negocios, una vez que la plataforma sea implementada y validada. En este sentido, PostgreSQL funcionaría como base para centralizar la información del negocio, mientras que la analítica predictiva y las recomendaciones inteligentes permitirían plantear escenarios de apoyo para la reposición de productos, la identificación de baja rotación, el seguimiento de tendencias de venta y la personalización de la experiencia de compra.

La principal aportación del trabajo consiste en presentar una solución tecnológica integrada y adaptable, orientada a negocios que normalmente administran su información comercial mediante herramientas dispersas. A diferencia de una tienda digital básica, la propuesta articula conceptualmente componentes de venta, administración, análisis e inteligencia artificial dentro de una misma

arquitectura conceptual. Esto permite visualizar una ruta de desarrollo viable para acercar tecnologías emergentes a contextos donde suelen existir limitaciones económicas, técnicas o de capacitación digital, aunque su impacto real aún está por demostrarse empíricamente.

El prototipo no funcional elaborado en Figma permitió representar la solución de manera visual y comprobar la coherencia entre la vista del cliente, el panel administrativo y los módulos técnicos propuestos. Aunque el sistema no fue implementado funcionalmente, ni probado con usuarios reales, el prototipo establece una ruta clara para una etapa posterior de desarrollo, en la que podrían validarse tiempos de respuesta, precisión de modelos predictivos, utilidad del tablero de indicadores y aceptación de recomendaciones por parte de los usuarios.

Se concluye que la propuesta es viable como diseño conceptual y técnico para pequeños negocios que buscan avanzar hacia una gestión más digital y basada en datos. Su principal valor se encuentra en la organización articulada de la información comercial, la definición de una arquitectura modular y escalable, y el planteamiento de mecanismos inteligentes de apoyo a la decisión. Como trabajo futuro, será necesario implementar una versión funcional de la plataforma; realizar pruebas de usabilidad con administradores y clientes reales; entrenar y evaluar los modelos predictivos con datos operativos reales; medir el desempeño técnico del sistema en condiciones de uso real; y, por último, evaluar el impacto de la plataforma en la gestión comercial de negocios participantes. Solo a través de estas etapas será posible transitar de la viabilidad conceptual a la eficacia demostrada.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Carmen y a la Facultad de Ciencias de la Información por el espacio académico para el desarrollo de propuestas tecnológicas aplicadas. Asimismo, se reconoce el acompañamiento docente recibido durante la elaboración del proyecto, ya que esto permitió orientar el análisis, diseño y prototipado de una solución basada en tecnologías emergentes para pequeños negocios.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés en la elaboración del presente artículo. La propuesta fue desarrollada con fines académicos y no responde a intereses comerciales, financieros o institucionales ajenos al objetivo formativo del proyecto.

Referencias

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (s. f.). *Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPDPPP.pdf

González Torres, A., Pereira Hernández, M. L., & Lacruhy Enríquez, C. C. (2025). Desigualdad tecnológica en las Mipymes: Un diagnóstico desde la Ciudad de México. RIDE. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo,* 15(30). https://doi.org/10.23913/ride.v15i30.2270

Huseynli, M., Bub, U., & Ogbuachi, M. C. (2022). Development of a method for the engineering of digital innovation using design science research. *Information, 13*(12), 573. https://doi.org/10.3390/info13120573

Indiani, N. L. P., Keshminder, J. S., Wiratama, N. I., & Amertha, G. S. (2025). Unlocking e-commerce potential in SMEs: An integrative framework for adoption in emerging markets. *Humanities and Social Sciences Communications, 12*, 773. https://doi.org/10.1057/s41599-025-04952-3

Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8), 103773. https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018

OECD. (2021). *The digital transformation of SMEs.* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/bdb9256a-en

Oldemeyer, L., Jede, A., & Teuteberg, F. (2024). Investigation of artificial intelligence in SMEs: A systematic review of the state of the art and the main implementation challenges. *Management Review Quarterly.* https://doi.org/10.1007/s11301-024-00405-4

OWASP Foundation. (2021). *OWASP* Top 10:2021. https://owasp.org/Top10/2021/

PostgreSQL Global Development Group. (s. f.). *PostgreSQL: The world's most advanced open source database*. https://www.postgresql.org/

PrestaShop. (s. f.). *Open source ecommerce platform.* https://prestashop.com/open-source/

Sánchez, E., Calderón, R., & Herrera, F. (2025). Artificial intelligence adoption in SMEs: Survey based on TOE–DOI framework, primary methodology and challenges. *Applied Sciences*, 15(12), 6465. https://doi.org/10.3390/app15126465

Turban, E., Outland, J., King, D., Lee, J. K., Liang, T.-P., & Turban, D. C. (2018). *Electronic commerce 2018: A managerial and social networks perspective* (9th ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58715-8

Valencia-Arias, A., Uribe-Bedoya, H., González-Ruiz, J. D., Sánchez Santos, G., Chapoñan Ramírez, E., & Martínez Rojas, E. (2024). Artificial intelligence and recommender systems in e-commerce: Trends and research agenda. *Intelligent Systems with Applications,* 24, 200435. https://doi.org/10.1016/j.iswa.2024.200435

Fecha de recepción: 02/06/2026
Fecha de aceptación: 12/06/2026

¿Quién responde a los daños causados por la IA?

Palmer Perales Ana Karen(1)
Toledo Vázquez Daniel(2)
Telumbre Terrero Juan Yovani(3)

Resumen

Este trabajo analiza la responsabilidad ante daños y accidentes provocados por sistemas de inteligencia artificial (IA), partiendo de su evolución tecnológica y su integración en las Tecnologías de la Información y la Comunicación, tanto a nivel global como nacional. El objetivo de esta investigación documental es analizar a través del estado del arte las implicaciones de la IA y sus efectos. Para tal fin se empleó una metodología empleada combina la revisión de antecedentes teóricos, el análisis de aplicaciones prácticas en sectores como salud, educación, transporte y finanzas, así como el estudio de los marcos normativos vigentes y las propuestas legislativas actuales. Como resultados principales se identifican los beneficios de esta tecnología, que mejora la eficiencia, amplía el acceso a servicios y optimiza procesos productivos, pero también sus riesgos: discriminación derivada de sesgos en los datos, afectaciones a la privacidad, propagación de desinformación y errores en decisiones de alto impacto. Se evidencia que el mayor reto jurídico radica en la dificultad de atribuir responsabilidad, debido a la autonomía de los sistemas, la complejidad de su funcionamiento y la intervención de múltiples actores en su desarrollo y uso. Si bien la Unión Europea ha avanzado con normativas como el Reglamento de IA y la Directiva sobre responsabilidad por productos defectuosos, que establecen criterios según el nivel de riesgo, en la mayoría de los países incluyendo México aún no existe una regulación específica, lo que genera incertidumbre jurídica. Se concluye que es indispensable contar con marcos normativos claros, que equilibren el impulso a la innovación con la protección de los derechos de las personas, así como mecanismos que garanticen la transparencia de los algoritmos y el resarcimiento efectivo ante los daños ocasionados.

Palabras clave: responsabilidad jurídica; regulación, inteligencia artificial.

ABSTRACT

This paper analyzes liability for damages and accidents caused by artificial intelligence (AI) systems, starting from their technological evolution and integration into Information and Communication Technologies, both globally and nationally. The objective of this documentary research is to analyze, through the state of the art, the implications of AI and its effects. The methodology employed combines a review of theoretical background, an analysis of practical applications in sectors such as health, education, transportation, and finance, as well as a study of current regulatory frameworks

(1) Estudiante de Ingeniería Mecatrónica en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Carmen, (2) Estudiante de Ingeniería Mecatrónica en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Carmen. (3) Doctor en Salud Mental. Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ciencias Naturales.

and legislative proposals. The main findings identify the benefits of this technology, which improves efficiency, expands access to services, and optimizes production processes, but also its risks: discrimination stemming from data bias, privacy violations, the spread of misinformation, and errors in high-impact decisions. It is evident that the greatest legal challenge lies in the difficulty of attributing liability, due to the autonomy of the systems, the complexity of their operation, and the involvement of multiple actors in their development and use. While the European Union has made progress with regulations such as the AI Regulation and the Directive on liability for defective products, which establish criteria based on risk level, most countries, including Mexico, still lack specific regulations, leading to legal uncertainty. is concluded that clear regulatory frameworks are essential, balancing the promotion of innovation with the protection of human rights, as well as mechanisms that guarantee the transparency of algorithms and effective redress for damages caused.

Keywords: Legal responsibility; regulation, artificial intelligence.

Introducción

El desarrollo de la inteligencia artificial (IA) no es un fenómeno reciente, sino el resultado de décadas de investigación científica y avances tecnológicos que transformaron la forma en que entendemos la capacidad de procesamiento y toma de decisiones de las máquinas (Sagula, 2025). Aunque sus antecedentes filosóficos e incluso técnicos se remontan siglos atrás, el término fue acuñado oficialmente en 1956 durante la Conferencia de Dartmouth, donde investigadores como John McCarthy, Marvin Minsky y Claude Shannon se propusieron estudiar cómo lograr que las máquinas simularán capacidades propias de la inteligencia humana (Bernal-García, 2023).

Según explica el artículo de divulgación publicado en la revista *Tabanque*: "Desde sus inicios, el campo se ha movido entre etapas de gran optimismo y momentos de estancamiento, pero a partir de la última década del siglo XX, gracias al aumento de la capacidad de cómputo y la disponibilidad masiva de datos, ha experimentado un crecimiento sin precedentes que la ha llevado a integrarse en casi todos los sectores de la actividad humana" (García, 2024).

Este progreso no habría sido posible sin el avance y expansión de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), que constituyen la base técnica y estructural sobre la que se asienta la IA. A nivel mundial, las TIC han reconfigurado las relaciones económicas, sociales y culturales hasta el punto de dar origen a lo que el sociólogo Manuel Castells definió como la "sociedad red", un sistema donde la información y su procesamiento se convirtieron en los motores fundamentales del desarrollo (Torres, 2020). Tal como señala el informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones: "*La conectividad global ha permitido que el conocimiento y las herramientas tecnológicas circulen con una velocidad y alcance nunca vistos, creando oportunidades de desarrollo, pero también profundizando brechas de desigualdad entre regiones con acceso y aquellas que quedan al margen de la transformación digital*" (UIT, 2024). El uso de estas tecnologías ha pasado de ser un recurso especializado a un bien de uso cotidiano, extendiéndose desde las grandes corporaciones y centros de investigación hasta los hogares y las actividades personales.

En el ámbito nacional tomando como referencia el caso de México la adopción y desarrollo de las TIC han seguido una trayectoria paralela a la tendencia mundial, pero con características particulares. Según el estudio publicado en la revista Ciencias Sociales Agenda Nacional: "*En nuestro país, la incorporación de las tecnologías digitales se ha impulsado tanto desde las políticas públicas como desde la iniciativa privada, buscando reducir la brecha digital y mejorar la competitividad económica; sin embargo, persisten desafíos importantes relacionados con la calidad del servicio, la capacitación de la población y la infraestructura, especialmente en las zonas rurales y las comunidades con menores recursos*" (Méndez, 2023). A medida que las TIC se han extendido, la IA ha dejado de ser un concepto teórico o una herramienta reservada para expertos para formar parte de sistemas que operan en la vida diaria: desde aplicaciones de transporte y atención al cliente hasta sistemas médicos, industriales y de seguridad (Sánchez, 2021).

Sin embargo, este avance trae consigo nuevos desafíos legales, éticos y sociales, entre los que destaca la cuestión de la responsabilidad ante daños o accidentes causados por sistemas dotados de inteligencia artificial. A diferencia de las tecnologías tradicionales, donde suele identificarse claramente al fabricante, el usuario o el responsable directo, la IA presenta particularidades complejas: muchos sistemas aprenden y evolucionan por sí mismos a partir de los datos que reciben, por lo que su comportamiento no siempre es predecible ni controlable de forma exhaustiva por quienes los diseñaron o los pusieron en funcionamiento

(Martínez, 2018). Como se indica en el artículo de divulgación publicado por el portal especializado datos.gob.es: "*La complejidad de las cadenas de producción y uso, así como la autonomía creciente de estos sistemas, hacen que en caso de daño surja una zona gris jurídica: ¿corresponde la responsabilidad a quien diseña el algoritmo, a quien aporta los datos de entrenamiento, a quien comercializa el producto o a quien lo utiliza? Esta incertidumbre no solo afecta a las personas que pueden sufrir perjuicios, sino también al desarrollo seguro y confiable de la tecnología misma*" (Ruiz, 2025).

El presente trabajo tiene como objetivo analizar esta problemática, revisar los marcos normativos existentes y proponer criterios para definir quién debe asumir la responsabilidad cuando la inteligencia artificial causa accidentes o daños, partiendo de la premisa de que el progreso tecnológico debe ir acompañado de mecanismos que garanticen la protección de los derechos de las personas y el funcionamiento justo de la sociedad.

Primeras aproximaciones

La investigación se desarrolla mediante un enfoque cualitativo, con una secuencia que inicia con la recopilación y revisión de información especializada, artículos científicos, normativas vigentes y documentos oficiales. Se utiliza el método de análisis documental como técnica principal, el cual permite examinar, clasificar e interpretar la información recabada para identificar tendencias, vacíos legales y criterios de atribución de responsabilidad. Asimismo, se emplea la técnica de análisis comparativo para contrastar los distintos marcos regulatorios a nivel internacional y nacional, así como las posturas teóricas existentes. Como materiales se utilizan libros, artículos de investigación, informes técnicos y disposiciones legales, mientras que para la organización y procesamiento de la información se emplean herramientas ofimáticas y de gestión de referencias bibliográficas.

Aplicaciones de la IA

En la actualidad, la inteligencia artificial forma parte de casi todos los sectores de la actividad humana, aportando soluciones innovadoras y mejorando procesos en distintos ámbitos: en la salud se emplea para realizar diagnósticos más precisos a partir de estudios médicos, diseñar tratamientos personalizados y agilizar la investigación de nuevos fármacos (Kale y Noriega, 2025); en el ámbito financiero sirve para detectar operaciones sospechosas, evaluar riesgos crediticios y personalizar servicios al cliente (Kale2024); en transporte y logística permite optimizar rutas, gestionar flotas y desarrollar sistemas de conducción autónoma que buscan reducir accidentes y tiempos de recorrido (Kale, 2025; Méndez, 2023); en la educación facilita el aprendizaje adaptado al ritmo de cada estudiante y apoya la labor docente con herramientas de corrección y análisis de resultados (García, 2024; Noriega, 2025); en agricultura contribuye a monitorear cultivos, prever cosechas y hacer un uso más eficiente del agua y los insumos químicos (Kale, 2025; UIT, 2024); en seguridad y ciberseguridad se utiliza para vigilar espacios públicos, identificar riesgos y proteger sistemas informáticos de ataques (Ruiz, 2025; Kale, 2025); y en el entretenimiento y el comercio electrónico crea recomendaciones ajustadas a los gustos de cada usuario y facilita la generación de contenidos de forma automática (García, 2024; Noriega, 2025).

Lo que la IA sí está haciendo bien

Antes de abordar el problema de la responsabilidad, es necesario reconocer con honestidad las razones detrás de la rápida expansión de la inteligencia artificial: en diversos ámbitos ha demostrado ser eficaz y, en algunos casos, incluso superior a cualquier alternativa previa, al optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones y ampliar las capacidades humanas. Este crecimiento acelerado no solo responde a avances tecnológicos, sino también a su adopción creciente en sectores clave donde ofrece soluciones eficientes y escalables. En este sentido, algunos de los puntos que se describen a continuación constituyen elementos fundamentales que deben ser analizados y abordados de manera crítica, ya que permiten comprender tanto los beneficios como los desafíos éticos, sociales y profesionales que acompañan su implementación (García, 2024).

Salud: diagnóstico y eficiencia

En medicina, los sistemas de IA pueden detectar patrones en imágenes diagnósticas con una precisión que iguala o supera a la de los especialistas humanos en condiciones controladas. Esto no es menor: en regiones con escasez de médicos especialistas, un sistema de apoyo al diagnóstico puede ser la diferencia entre detectar un cáncer a tiempo o no detectarlo. La automatización de tareas administrativas —notas clínicas, agendamiento, codificación de expedientes— también libera tiempo que los profesionales pueden dedicar a los pacientes (Kale, 2025; Noriega, 2025). Un estudio publicado en Health Systems Research señala que

la IA mejora resultados individuales, aumenta la eficiencia organizacional y fortalece sistemas de salud al reducir cuellos de botella históricos (Gebremeskel & Romeo, 2025; García, 2024).

Educación: acceso y personalización

La IA está democratizando el acceso al conocimiento. Herramientas de tutoría adaptativa pueden ajustar el ritmo y estilo de enseñanza a cada estudiante, algo que un maestro con 40 alumnos difícilmente puede hacer. En países con brechas educativas profundas, esto no es un lujo, es infraestructura. Los países que integren bien estas tecnologías en sus sistemas educativos tendrán ventajas competitivas reales en productividad a largo plazo (Funcas, 2025; García, 2024).

Economía y productividad

En el mundo laboral, la IA puede aumentar la productividad cuando se usa para complementar el trabajo humano, no solo para reemplazarlo. Análisis de grandes volúmenes de datos, detección de fraudes, optimización de cadenas de suministro: estas son tareas donde los algoritmos tienen ventaja clara sobre los procesos manuales. La IA generativa podría promover prosperidad compartida, especialmente cuando se orienta a crear empleos bien pagados que complementen capacidades humanas (Capraro et al., 2024; UIT, 2024).

Los daños que nadie quiere ver

Ahora bien, los beneficios de la inteligencia artificial no ocurren en el vacío, del mismo modo que sus posibles daños tampoco lo hacen. Ambos generan efectos concretos en la realidad, con implicaciones tangibles en distintos ámbitos. Existen consecuencias reales y documentadas que no pueden minimizarse ni justificarse bajo el argumento de que se trata de una tecnología "aún en desarrollo". Por el contrario, estos efectos exigen un análisis riguroso y una atención responsable que permita dimensionar tanto sus aportes como los riesgos asociados a su implementación.

Sesgo y discriminación algorítmica

Los sistemas de IA aprenden de datos históricos, y los datos históricos están llenos de prejuicios humanos. El resultado es previsible: algoritmos que discriminan por raza, sexo, edad o nivel socioeconómico, no porque alguien lo haya programado explícitamente, sino porque el modelo encontró correlaciones estadísticas convenientes. Las bases de datos sesgadas generan decisiones discriminatorias, y el riesgo es mayor para grupos que ya enfrentan marginalización (Bachelet, 2021; BDO España, 2024). El problema se agrava porque la discriminación algorítmica puede ser invisible. Un banco que niega un crédito usando un modelo opaco, o un tribunal que aplica una herramienta de predicción de reincidencia, no están necesariamente violando una ley explícita. Están usando una caja negra. Y las cajas negras no rinden cuentas (Ciencias del Derecho, 2025; IBM México, 2025).

Privacidad y vigilancia masiva

El entrenamiento de modelos de IA requiere cantidades enormes de datos personales. Esa recolección masiva, muchas veces sin consentimiento informado real, pone en riesgo información que la gente nunca consintió compartir para ese propósito. Cuando los sistemas de reconocimiento facial se despliegan sin regulación adecuada, la vigilancia pasa de ser una herramienta de seguridad a un mecanismo de control; sin marcos regulatorios, puede derivar en discriminación y criminalización injusta (Ciencias del Derecho, 2025; Bachelet, 2021).

Desinformación y deepfakes

La IA también se usa para fabricar mentiras más convincentes. Los deepfakes —videos o audios manipulados con IA para hacer que alguien parezca decir o hacer algo que no hizo— ya están afectando procesos electorales, dañando reputaciones y engañando a millones. Investigaciones de la Universidad de Oxford encontraron que al menos el 70% de los países analizados han experimentado campañas de desinformación con componentes de IA (Ciencias del Derecho, 2025; IBM México, 2025).

Daños en decisiones automatizadas de alto impacto

Los daños más preocupantes ocurren donde los sistemas de IA toman decisiones con consecuencias graves: contrataciones, crédito, sentencias penales, diagnósticos médicos. Un error en cualquiera de esos contextos no es solo un bug técnico, es una persona que pierde un trabajo, un hogar o la libertad. Y el problema legal es que, hoy por hoy, nadie tiene claro quién responde (Dictum Abogados, 2025; Galdós & Valicenti, 2025).

¿Quién responde, entonces?

Esta es la pregunta que da título al artículo, y la respuesta más honesta es que, en la mayoría de los

casos, nadie asume la responsabilidad con la claridad suficiente. La complejidad de los sistemas de inteligencia artificial, sumada a la multiplicidad de actores involucrados en su diseño, implementación y uso, diluye los límites de la rendición de cuentas y genera vacíos difíciles de resolver (González, 2017). En este contexto, resulta necesario problematizar quién debe responder ante sus efectos, especialmente cuando estos impactan de manera directa en la vida de las personas. A continuación, se analizan algunos puntos clave que permiten comprender mejor esta problemática, identificando áreas críticas donde la responsabilidad se vuelve difusa y, al mismo tiempo, urgente de delimitar.

El problema del vacío legal

Los sistemas de responsabilidad civil tradicionales funcionan bien para daños causados por personas o productos físicos. Pero la IA rompe ese esquema. ¿Quién es responsable cuando un vehículo autónomo atropella a alguien: el fabricante del auto, el desarrollador del algoritmo, ¿la empresa que lo desplegó, el usuario que lo activó? La cadena causal se vuelve tan larga y técnica que los tribunales ordinarios no saben qué hacer con ella (Dictum Abogados y Ruiz, 2025).

Además, existe un debate abierto sobre si los sistemas de IA deberían tener personalidad jurídica propia, lo que implicaría que podrían ser responsables de sus acciones de manera similar a una empresa. Por ahora, esa discusión es más filosófica que práctica, pero no por mucho tiempo (Dictum Abogados y Revista Jurídica UDESA, 2025).

Lo que está haciendo Europa

Europa es el territorio donde la regulación ha avanzado más. A partir del 1 de agosto de 2024, entró en vigor el Reglamento de IA de la UE, el primero de este tipo a nivel mundial. Este marco legal clasifica los sistemas de IA según su nivel de riesgo e impone requisitos estrictos a los de alto riesgo. La norma también prohíbe aplicaciones consideradas contrarias a los valores europeos, como el scoring social o el reconocimiento biométrico policial en tiempo real (Reglamento UE 2024/1689; OCU, 2024).

En paralelo, la Directiva 2024/2853 sobre responsabilidad por productos defectuosos incorporó los sistemas de IA en su ámbito de aplicación. Según este marco, la responsabilidad recae principalmente en el fabricante o desarrollador cuando el producto no ofrece la seguridad que cabría esperarse. Esta directiva debe ser transpuesta por los Estados miembros antes del 9 de diciembre de 2026 (Directiva UE 2024/2853; Uría Menéndez, 2025).

La Comisión Europea también publicó en 2022 una Propuesta de Directiva específica sobre responsabilidad civil en materia de IA (COM 2022/496). Aunque esa propuesta aún no ha culminado su proceso legislativo, el debate que generó dejó claro el problema central: la asimetría de información entre quien diseña el sistema y quien sufre el daño hace muy difícil que la víctima pueda demostrar la cadena causal (Comisión Europea, 2022; InDret, 2025).

Modelos de responsabilidad: ¿objetiva, subjetiva o híbrida?

En términos jurídicos, el debate gira en torno a qué tipo de responsabilidad debe aplicarse. La responsabilidad subjetiva exige probar que hubo culpa o negligencia del desarrollador o usuario. La objetiva —también llamada estricta— basta con demostrar el daño y la relación causal, sin necesidad de probar intención o descuido. La híbrida busca un punto medio: responsabilidad objetiva para los sistemas de mayor riesgo y subjetiva para los de bajo riesgo (Revista Jurídica UDESA y Galdós & Valicenti, 2025).

El problema de la responsabilidad subjetiva en contextos de IA es casi kafkiano: ¿cómo prueba una víctima que el desarrollador fue negligente cuando el modelo tiene millones de parámetros y ni el propio desarrollador puede explicar completamente por qué tomó cierta decisión? La explicabilidad de los algoritmos no es solo un problema técnico. Es un problema de justicia (Dictum Abogados, 2025; Atienza Navarro, 2022).

Europa vs. Latinoamérica: dos velocidades de regulación

El contraste entre Europa y América Latina en materia de regulación de IA no podría ser más pronunciado. Mientras la Unión Europea cuenta desde agosto de 2024 con el primer reglamento general de IA del mundo, con clasificación de riesgos, prohibiciones explícitas y un calendario de implementación con fechas concretas, en América Latina el panorama sigue siendo fragmentado y reactivo (Reglamento UE 2024/1689; Buades Legal, 2025).

En Europa, el Reglamento de IA establece cuatro niveles de riesgo: inaceptable, alto, limitado y mínimo. Los sistemas de riesgo inaceptable —como el scoring social masivo o la vigilancia biométrica en tiempo real— están directamente prohibidos.

Los de alto riesgo, que incluyen sistemas de crédito, contratación o diagnóstico médico, deben cumplir con requisitos de transparencia, supervisión humana y registro. Además, la Directiva 2024/2853 ya incorporó a la IA dentro del régimen de responsabilidad por productos defectuosos, lo que da a las víctimas una vía legal concreta para reclamar (Directiva UE 2024/2853; Uría Menéndez, 2025).

En América Latina, el escenario es distinto. Brasil es el país más avanzado de la región: aprobó en 2021 la Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) y tiene en proceso un proyecto de ley específico sobre IA. Argentina cuenta con legislación de protección de datos personales, pero sin marco específico para IA. México, por su parte, no dispone aún de legislación que regule la responsabilidad civil derivada de sistemas de IA, lo que deja a las víctimas de daños algorítmicos dependientes de normas generales de responsabilidad civil que no fueron diseñadas para este contexto (Méndez, 2023; Dictum Abogados, 2025).

La brecha no es solo normativa, es también de capacidad institucional. Europa cuenta con autoridades de supervisión con presupuesto y mandato claro para fiscalizar el cumplimiento del Reglamento de IA. En América Latina, incluso en los países con legislación más avanzada, los organismos reguladores carecen de los recursos técnicos y humanos necesarios para auditar sistemas de aprendizaje automático. Esto significa que, aunque existan leyes, su aplicación efectiva sigue siendo un desafío pendiente (Ruiz y Buades Legal, 2025).

Conclusión

La IA tiene beneficios reales que sería deshonesto ignorar. Mejora diagnósticos, democratiza el acceso a la educación y puede hacer más eficientes procesos que antes dependían de recursos humanos escasos. Pero esos beneficios no eliminan la pregunta central: cuando algo sale mal, ¿quién responde? Por ahora, la respuesta es incómoda: nadie, con suficiente claridad. Los marcos legales existentes no fueron diseñados para sistemas que aprenden, se adaptan y toman decisiones en microsegundos con consecuencias en la vida real. La opacidad algorítmica convierte el daño en algo difícil de probar y, por tanto, difícil de reparar.

Europa va adelante con regulación concreta, pero incluso ahí los instrumentos más específicos todavía están en proceso de implementación. El resto del mundo va más lento. Y mientras los reguladores deliberan, los sistemas de IA siguen desplegándose, tomando decisiones y, en algunos casos, causando daños que nadie está pagando. La discusión no es si regular o no regular la IA. Es cómo hacerlo sin frenar la innovación ni dejar a las personas desprotegidas ante tecnologías que ya tienen poder sobre su vida cotidiana. Eso requiere marcos de responsabilidad claros, mecanismos de explicabilidad, supervisión independiente y, sobre todo, voluntad política de poner el interés de las personas por delante del de quienes despliegan los sistemas. Mientras eso no ocurra, la pregunta del título seguirá sin tener una respuesta satisfactoria.

Referencias

Aparicio Araque, B. (2025). *Directrices de la Unión Europea sobre prácticas prohibidas de inteligencia artificial.* Revista CESCO de Derecho de Consumo, 53, 135-159.

Atienza Navarro, M. L. (2022). *Daños causados por inteligencia artificial y responsabilidad civil. Atelier Libros Jurídicos, Barcelona,* 2022.

Bachelet, M. (2021). *Los riesgos de la inteligencia artificial para la privacidad exigen medidas urgentes [Comunicado de prensa]*. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. Disponible: https://www.ohchr.org/es/press-releases/2021/09/artificial-intelligence-risks-privacy-demand-urgent-action-bachelet

BDO España. (2024). *Riesgos de sesgo y discriminación en la IA*. Disponible: https://www.bdo.es/es-es/blogs-es/coordenadas-bdo/riesgos-de-sesgo-y-discriminacion-en-inteligencia-artificial-(ia)

Bernal-García, M. (2023). Inteligencia Artificial en la escritura científica. *Revista Investigación en Salud Universidad de Boyacá*, 10(2), 13-15.

Buades Legal. (2025). *La responsabilidad civil como consecuencia de daños causados por la inteligencia artificial.* Disponible: https://www.buadeslegal.com/la-responsabilidad-civil-como-consecuencia-de-danos-causados-por-la-inteligencia-artificial/

Capraro, V., Lentsch, A., Acemoglu, D., Akgun, S., Akhmedova, A., Bilancini, E., Bonnefon, J.-F., Brañas-Garza, P., Butera, L., Douglas, K. M., Everett, J. A. C., Gigerenzer, G., Greenhow, C., Hashimoto, D. A., Holt-Lunstad, J., Jetten, J., Johnson, S., Kunz, W. H., Longoni, C., … Van Bavel, J. J. (2024). *The impact of generative artificial intelligence on socioeconomic inequalities and policy making.* PNAS Nexus, 3(6);12.20. DOI: https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae191

Ciencias del Derecho. (2025). *Amenazas de la IA: riesgos, peligros y usos indebidos.* Disponible: https://cienciasdelderecho.com/amenazas-de-la-ia/

Comisión Europea. (2022). *Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la*

adaptación de las normas de responsabilidad civil extracontractual a la inteligencia artificial (COM/2022/496). Disponible: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0496

Dictum Abogados. (2025). *La responsabilidad civil derivada por los daños causados por la inteligencia artificial (IA): necesidad de normativa aplicable.* Disponible: https://dictumabogados.com/e-dictum-publicaciones-derecho-mercantil/responsabilidad-civil-por-los-danos-causados-por-ia-necesidad-legislativa/33859/

Directiva (UE) 2024/2853 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2024, *sobre responsabilidad por los daños causados por productos defectuosos* y por la que se deroga la Directiva 85/374/CEE del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea.

Funcas. (2025). *La inteligencia artificial en el sistema educativo.* Papeles de Economía Española, 184. Disponible: https://www.funcas.es/revista/la-inteligencia-artificial-en-el-sistema-educativo/

Galdós, J. M., y Valicenti, E. (2025). *Responsabilidad civil derivada de la inteligencia artificial y los sistemas inteligentes.* TR La Ley. AR/DOC/270/2025.

García, J. (2024). Inteligencia artificial: historia, evolución y perspectivas. Revista Tabanque. DOI: https://doi.org/10.24197/trp.36.2024

García, R. A. P. (2023). La inteligencia artificial en el sistema educativo venezolano: oportunidades y amenazas. Revista Eduweb, 17(4), 9-15.

Gebremeskel, T. G., & Romeo, F. (2026). Unveiling the Benefits of Artificial Intelligence in Individual, Organizational Management, and the Health/Sector System. Health Science Reports, 9(1), e71536.

González, M. J. S. (2017). Regulación legal de la robótica y la inteligencia artificial: retos de futuro. Revista jurídica de la Universidad de León, 4(4), 25-50.

IBM México. (2025). 10 peligros y riesgos de la IA y cómo gestionarlos. Disponible: https://www.ibm.com/mx-es/think/insights/10-ai-dangers-and-risks-and-how-to-manage-them

InDret. (2025). Responsabilidad por daños causados por la inteligencia artificial. Disponible : https://indret.com/responsabilidad-por-danos-causados-por-la-inteligencia-artificial/

Kale, A. (2025). Artificial intelligence in healthcare: applications, challenges and future prospects. Journal of Medical Systems.

Martínez, I. P. B. (2018). Cuarta Revolución Industrial. Impacto de la Inteligencia Artificial en el modo de producción actual. Conjeturas Sociológicas, 6(16), 43-57.

Méndez, R. (2023). Adopción de tecnologías digitales en México: retos y perspectivas. Revista Ciencias Sociales Agenda Nacional.

Muñoz García, C. (2025). Directiva 2024/2853, sobre responsabilidad por los daños causados por productos defectuosos. Revista LA LEY Unión Europea, 132.

Noriega, P. (2025). Inteligencia artificial y transformación sectorial en el siglo XXI. Editorial Académica Española.

Organización de Consumidores y Usuarios (OCU). (2024). Los sesgos de la inteligencia artificial. Disponible: https://www.ocu.org/tecnologia/internet-telefonia/informe/sesgos-inteligencia-artificial

Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial. Diario Oficial de la Unión Europea.

Ruiz, A. (2025). Responsabilidad jurídica en sistemas de inteligencia artificial: zonas grises y propuestas de solución. datos.gob.es.

Sagula, J. (2025). La Inteligencia Artificial, un flujo continuo desde su nacimiento hasta ahora. Journal Sibemir, 1(1), 4-10.

Sánchez, C. A. C. (2021). Efectos de la inteligencia artificial en las estrategias de marketing: Revisión de literatura. ADResearch: Revista Internacional de Investigación en Comunicación, (24), 26-41.

Torres, J. L. F. (2020). La sociedad y la comunicación desde la perspectiva de Manuel Castells de sociedad red. Sintaxis, (5), 85-102.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (2024). Informe sobre el desarrollo de las telecomunicaciones mundiales. Disponible: https://www.itu.int

Universidad de San Andrés. (2025). La responsabilidad por daños causados por el uso de IA: ¿responsabilidad objetiva, subjetiva o híbrida? https://revistasdigitales.udesa.edu.ar/index.php/revistajuridica/es/article/view/313

Uría Menéndez. (2025). Responsabilidad civil e inteligencia artificial. Actualidad Jurídica Uría Menéndez, 67, 29-56.

Fecha de recepción: 29/05/2026
Fecha de aceptación: 10/06/2026

SIPRIDE:Sistema Predictivo de Riesgo de Deserción Estudiantil con Aprendizaje Automático en Ingeniería UNACAR

González Uc Delio Humberto(1)
Pérez Ramírez Agustín(2)
Orbe Trujillo Eduardo(3)
García Hernández Ramón(4)

Resumen

La deserción escolar constituye uno de los principales desafíos de la política educativa en México, con tasas recientes del 11.3% en educación media superior y 7.2% en superior, de acuerdo con cifras oficiales. Este trabajo presenta el desarrollo y validación técnica preliminar de un prototipo predictivo de riesgo de deserción estudiantil como apoyo a la toma de decisiones tutoriales, incorporando factores psicoemocionales, académicos y socioeconómicos. La validación se realizó en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Carmen como caso de estudio. Se aplicó una metodología en seis fases para proyectos de minería de datos, organizada en dos etapas: la primera con 75 estudiantes activos de las licenciaturas en Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Mecánica, con presencia marginal de Ingeniería en Energía, seleccionados mediante muestreo intencional por accesibilidad, equivalente al 16.30% de la matrícula combinada de ambos programas y al 7.33% de la matrícula total de la facultad; y la segunda con un conjunto sintético de quinientos registros, generado con estructura categórica idéntica al instrumento real, para evaluar la viabilidad técnica del modelo en condiciones controladas. Se compararon dos algoritmos de clasificación supervisada con balanceo de clases mediante sobremuestreo sintético, validación cruzada estratificada y selección automática del umbral óptimo. La evaluación técnica obtuvo un índice global de discriminación de 0.735, sensibilidad de 0.611 y media armónica de 0.461. El prototipo integra un panel administrativo para procesar respuestas y generar predicciones, así como un panel de usuario final que muestra resultados individualizados, factores de riesgo dominantes y acciones tutoriales sugeridas. Los resultados muestran la viabilidad del aprendizaje automático como apoyo para priorizar intervenciones tutoriales tempranas

Palabras clave: deserción estudiantil; aprendizaje automático; factores psicoemocionales; prototipo predictivo; educación superior

ABSTRACT

School dropout remains one of the main challenges of educational policy in Mexico, with recent official rates of 11.3% in upper-secondary education and 7.2% in higher education. This paper presents the development and preliminary technical validation of a predictive prototype for student dropout risk as a decision-support tool for tutorial intervention,

(1) Profesor de Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Carmen, (2) Profesor de Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Carmen. (3) Profesor de Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Carmen, (4) Profesor de Tiempo Completo, Coordinación de Investigación de la DEPI, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila.

incorporating psycho-emotional, academic, and socioeconomic factors. The validation was conducted at the Faculty of Engineering and Architecture of the Universidad Autónoma del Carmen as a case study. A six-phase data mining methodology was applied in two stages: the first with 75 active students from the Mechatronic Engineering and Mechanical Engineering programs, with marginal participation from Energy Engineering, selected through purposive convenience sampling, equivalent to 16.30% of the combined enrollment of both programs and 7.33% of the total faculty enrollment; and the second with a synthetic dataset of five hundred records, generated with the same categorical structure as the real instrument, to evaluate the technical feasibility of the model under controlled conditions. Two supervised classification algorithms were compared using class balancing through synthetic oversampling, stratified cross-validation, and automatic selection of the optimal threshold. The technical evaluation yielded a global discrimination index of 0.735, a sensitivity of 0.611, and a harmonic mean of 0.461. The prototype integrates an administrative panel for processing responses and generating predictions, as well as an end-user panel that displays individualized results, dominant risk factors, and suggested tutorial actions. The results show the technical feasibility of machine learning as a support tool for prioritizing early tutorial interventions.

Keywords: student dropout; machine learning; psycho-emotional factors; predictive prototype; higher education

Introducción

La deserción escolar constituye uno de los problemas más persistentes del sistema educativo mexicano. De acuerdo con las Principales Cifras del Sistema Educativo Nacional 2024-2025, durante el ciclo escolar 2023-2024 la tasa de abandono escolar en educación media superior alcanzó el 11.3%, mientras que en educación superior se ubicó en 7.2% durante el ciclo 2022-2023, último dato oficial publicado (Secretaría de Educación Pública, 2025). Reportes de seguimiento del ciclo 2024-2025 estiman que aproximadamente 864 mil estudiantes abandonaron sus estudios en los niveles de primaria, secundaria y educación media superior, lo que confirma que el fenómeno mantiene una magnitud crítica pese a los programas de apoyo económico vigentes (Educación con Rumbo, 2025). La Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior estima que aproximadamente uno de cada cuatro estudiantes que ingresa a una licenciatura no concluye sus estudios (Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, 2018).

En la Universidad Autónoma del Carmen, el fenómeno representa un desafío estratégico, conforme lo establece el Plan de Desarrollo Institucional 2022-2026, el cual enfatiza la necesidad de fortalecer las estrategias de permanencia y retención académica (Universidad Autónoma del Carmen, 2022). Este esfuerzo se alinea con el Plan Sectorial de Educación 2025-2030 de la Secretaría de Educación Pública, que establece como meta nacional reducir la tasa de abandono en educación media superior del 11.2% al 9.7% para el cierre del sexenio (Secretaría de Educación Pública, 2025), con el Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027 en su Misión 3, orientada a aumentar la cobertura educativa y reducir la deserción escolar (Secretaría de Educación del Estado de Campeche, 2023), así como con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 de la Agenda 2030.

La dimensión psicoemocional como eje del fenómeno

La literatura contemporánea sobre deserción ha trascendido los modelos centrados exclusivamente en variables académicas y socioeconómicas. Tinto (1975), en su modelo seminal de integración estudiantil, planteó que la decisión de abandonar los estudios depende del grado de integración académica y social del estudiante, donde la dimensión emocional resulta determinante. Bean y Eaton (2001) ampliaron este modelo psicológico al evidenciar que la autoeficacia, la motivación y el manejo del estrés explican una proporción significativa de la varianza en las tasas de retención.

En el contexto mexicano, los estudios institucionales han documentado consistentemente la centralidad de los factores psicoemocionales. Cajigal Molina et al. (2022) demostraron que los factores de resiliencia emocional explican una porción sustancial de la varianza en la permanencia estudiantil. García-González et al. (2023) reportaron evidencia adicional sobre cómo el estrés académico impacta la permanencia universitaria, mientras que Arévalo et al. (2019) documentaron que la ansiedad y la falta de apoyo familiar constituyen predictores robustos de la deserción. En la dimensión académica, Saucedo Fernández et al. (2014) identificaron la disposición y actitud hacia el aprendizaje como variables clave del rendimiento, y Torres-Zapata et al. (2020) reportaron la articulación entre rendimiento académico y procesos de deserción. Guillermo-Echeverría et al. (2019) analizaron cómo la reprobación constituye un detonante directo de la

deserción en educación superior.

Este cuerpo de evidencia sugiere que cualquier modelo predictivo de deserción que omita la dimensión psicoemocional incurre en una subespecificación que limita su capacidad explicativa. La hipótesis central del presente trabajo es que la inclusión sistemática de variables psicoemocionales mejora la capacidad predictiva de los modelos de aprendizaje automático aplicados al fenómeno de la deserción.

Objetivo y contribución

El presente trabajo describe el desarrollo y validación experimental de SIPRIDE, un prototipo de apoyo a la toma de decisiones que estima el riesgo de deserción y prioriza casos para tutoría, acompañamiento académico y apoyo psicoemocional. La contribución es cuádruple: presenta un instrumento de medición que integra explícitamente factores psicoemocionales relevantes; propone una metodología reproducible con un canal de procesamiento completo; materializa el modelo en una arquitectura de dos módulos que cierra el ciclo entre captura del instrumento, predicción y acción tutorial; y fundamenta el posicionamiento institucional del prototipo como herramienta complementaria a la Unidad de Servicios Psicopedagógicos de la Universidad Autónoma del Carmen, no sustitutiva.

Métodos

El estudio aplica la metodología de proceso estándar para minería de datos propuesta por Chapman et al. (2000), ampliamente utilizada para estructurar proyectos de análisis de datos y aprendizaje automático. La metodología se desarrolla en seis fases secuenciales: comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implementación.

Fase 1. Comprensión del negocio

El objetivo principal consiste en estimar la probabilidad de riesgo de deserción de estudiantes universitarios, articulando factores académicos, socioeconómicos y psicoemocionales en un modelo predictivo que sirva como apoyo a la toma de decisiones tutoriales y de acompañamiento, y que pueda ser operado por personal académico sin formación técnica especializada.

Fase 2. Comprensión de los datos

Se diseñó un instrumento de 60 ítems agrupados en cinco dimensiones, sustentadas en la literatura especializada: académicas (promedio, materias reprobadas, asistencia, horas de estudio); socioeconómicas (ingresos familiares, trabajo concurrente, apoyo económico, nivel educativo de los padres); psicoemocionales (estrés relacionado con los estudios, motivación, apoyo familiar, estado de salud, satisfacción con la calidad de la carrera); institucionales (cambio de carrera, repetición de materia); y demográficas (edad, género, año cursado). La selección de ítems se basó en estudios previos en contextos universitarios mexicanos (Cajigal Molina et al., 2022; Guillermo-Echeverría et al., 2019; Saucedo Fernández et al., 2014; Torres-Zapata et al., 2020).

La prueba piloto se aplicó mediante un formulario digital a 75 estudiantes con matrícula activa de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura durante el periodo escolar en curso al momento de la captura. Se utilizó un muestreo intencional por accesibilidad, estrategia reconocida en estudios exploratorios y de validación de instrumentos cuando el propósito de la fase no es la inferencia estadística sino la verificación de pertinencia y operatividad del cuestionario. La aplicación se realizó dentro de grupos académicos disponibles para el equipo de investigación como mecanismo para asegurar una tasa de respuesta efectiva: experiencias previas mostraron que la aplicación masiva por correo institucional produce tasas de respuesta marginales que comprometen la representatividad real, mientras que la aplicación supervisada en aula asegura la respuesta efectiva, la comprensión homogénea de los ítems, el consentimiento informado verificable y el tratamiento anónimo de los datos.

De manera congruente con esta estrategia, la muestra quedó conformada por estudiantes de las licenciaturas en Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Mecánica, con un número marginal de casos de Ingeniería en Energía. Esta composición se reporta de manera explícita para delimitar el contexto disciplinar al que aplican los hallazgos del piloto y para facilitar comparabilidad en eventuales replicaciones del estudio. La transferibilidad del modelo a las demás licenciaturas de la facultad se reconoce como objetivo de fases subsecuentes.

Conforme al corte oficial emitido por la Subdirección Académica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para el ciclo escolar febrero 2026, la matrícula de la facultad asciende a 1,023 estudiantes de licenciatura, distribuidos entre los seis programas educativos que oferta; las licenciaturas en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica concentran 210 y 250 estudiantes

respectivamente, para una población combinada de 460 estudiantes que representa cerca del 45% de la matrícula total. Sobre el universo institucional completo, los 75 cuestionarios efectivamente respondidos representan el 7.33% de la matrícula total; sobre la subpoblación de los programas en los que se concentró la captura, representan el 16.30%, proporción considerada adecuada para una fase exploratoria de validación operativa del instrumento y del prototipo, sin pretensión de generalización estadística.

Los 75 registros corresponden a estudiantes con matrícula activa durante el periodo escolar en curso, razón por la cual no se reporta cuántos de los encuestados con pronóstico de riesgo terminaron efectivamente desertando. Esta validación cruzada entre la predicción del modelo y el evento real solo puede ejecutarse al cierre del periodo escolar, cuando Control Escolar emite el corte oficial de bajas y no-reinscripciones; aplicar esa verificación con datos de un periodo aún en desarrollo es, por construcción, imposible. Si la captura se hubiera realizado con estudiantes de cohortes ya concluidas, el conteo de desertores entre los pronosticados como de riesgo alto podría reportarse y constituiría una métrica complementaria de desempeño en campo; este cotejo retrospectivo se reconoce como objetivo de la siguiente fase del estudio.

Más allá de la condición temporal anterior, la validación de un sistema preventivo enfrenta una restricción metodológica de fondo. La situación descrita corresponde a lo que la literatura sobre evaluación de programas sociales y de salud pública denomina paradoja del éxito preventivo (Rose, 1985; Gordis, 2014): cuando una intervención preventiva funciona, el desenlace adverso que se buscaba evitar no ocurre, lo que imposibilita verificar contrafácticamente qué habría sucedido sin la intervención. Esta limitación afecta por igual a los programas de vacunación, a los protocolos de detección temprana de cáncer y, en general, a todo dispositivo cuyo propósito es modificar el curso esperado de un fenómeno.

La respuesta metodológica consolidada ante esta paradoja consiste en sustituir la verificación del desenlace evitado por tres estrategias complementarias de validación. La primera es la validación de criterio concurrente: la concordancia del 95% entre las predicciones del modelo y la alerta base institucional —generada de forma independiente por personal especializado— constituye evidencia de que el modelo identifica al mismo conjunto de casos críticos que el juicio experto (American Educational Research Association et al., 2014). La segunda es la validación retrospectiva con cohortes históricas, contemplada en la hoja de ruta del prototipo, estrategia estándar en epidemiología y en la literatura sobre predicción educativa (Berens et al., 2019). La tercera es la validación de constructo: los predictores dominantes coinciden con los factores documentados sistemáticamente como antecedentes de la deserción (Tinto, 1975; Bean y Eaton, 2001; Cajigal Molina et al., 2022). Coherentemente con este marco, la arquitectura del sistema incorpora un mecanismo de intervención temprana mediante notificación automatizada a la Secretaría Administrativa de la facultad para activar la revisión académica y tutorial antes de que el riesgo se materialice, en plena articulación con la Unidad de Servicios Psicopedagógicos de la Universidad Autónoma del Carmen (Universidad Autónoma del Carmen, 2021).

Para evaluar la viabilidad técnica del modelo y del canal de procesamiento, se generó un conjunto de quinientos registros sintéticos con estructura categórica idéntica al cuestionario, aplicando reglas probabilísticas que reflejan correlaciones documentadas en la literatura. Esta estrategia es metodológicamente equivalente a las simulaciones empleadas habitualmente para validar canales de procesamiento de aprendizaje automático en condiciones controladas.

Fase 3. Preparación de los datos

El preprocesamiento incluyó limpieza, normalización y transformación de variables. Las variables categóricas se transformaron mediante codificación binaria por categoría; las numéricas recibidas como rangos textuales se convirtieron a sus puntos medios. Las variables numéricas se normalizaron mediante escalamiento estándar. Para corregir el desbalance de clases se utilizó la técnica de sobremuestreo sintético propuesta por Chawla et al. (2002). La variable objetivo se construyó como proxy a partir de las columnas de materias reprobadas y frecuencia de asistencia, las cuales fueron explícitamente excluidas del conjunto de variables predictoras para evitar fuga de datos.

Fase 4. Modelado

Se compararon dos algoritmos de clasificación binaria: regresión logística con regularización y pesos balanceados, y bosques aleatorios con 200 árboles, profundidad máxima de diez y pesos balanceados. Ambos modelos se integraron en un canal de procesamiento reproducible. La figura 1 sintetiza el flujo del canal de procesamiento diseñado: cada bloque encapsula una operación

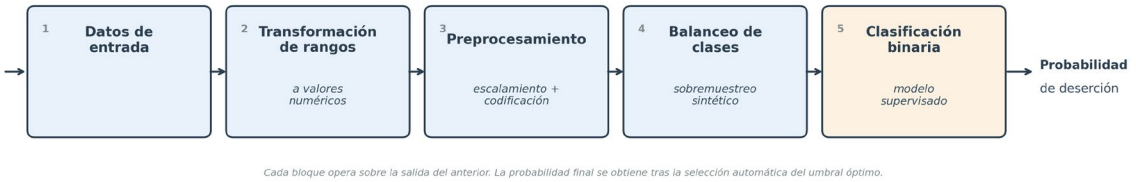


Figura 1. Diagrama de bloques del canal de procesamiento de aprendizaje automático SIPRIDE. Fuente: elaboración propia.

específica que opera sobre la salida del anterior, y la salida final es una probabilidad continua de deserción para cada estudiante.

Fase 5. Evaluación

Se aplicó validación cruzada estratificada de cinco particiones, calculando el valor de media armónica entre precisión y sensibilidad, así como el área bajo la curva característica operativa del receptor. En el conjunto de prueba se reportaron además precisión, sensibilidad y matriz de confusión. El umbral de clasificación se calculó automáticamente para maximizar la media armónica sobre la curva precisión-sensibilidad.

Fase 6. Implementación: arquitectura de dos módulos

La consolidación práctica del sistema se materializa en una arquitectura modular pensada para que el prototipo sea operable por personal académico sin necesidad de programar. El sistema se divide en dos módulos diferenciados por rol y función.

Módulo administrativo

El módulo administrativo, accesible mediante una interfaz local, recibe el archivo de respuestas exportado directamente del formulario digital y dispara automáticamente la cadena completa de procesamiento: conversión de los rangos textuales a valores numéricos, generación del archivo transformado, creación de respaldo automático del archivo previo y ejecución del canal de procesamiento de aprendizaje automático. La figura 2 muestra la pantalla de carga y el panel de estado del proceso.

Concluido el procesamiento, el panel administrativo despliega las métricas de desempeño del modelo, una sección de validación metodológica que contrasta el comportamiento del piloto real con el conjunto sintético, y los enlaces de descarga de los

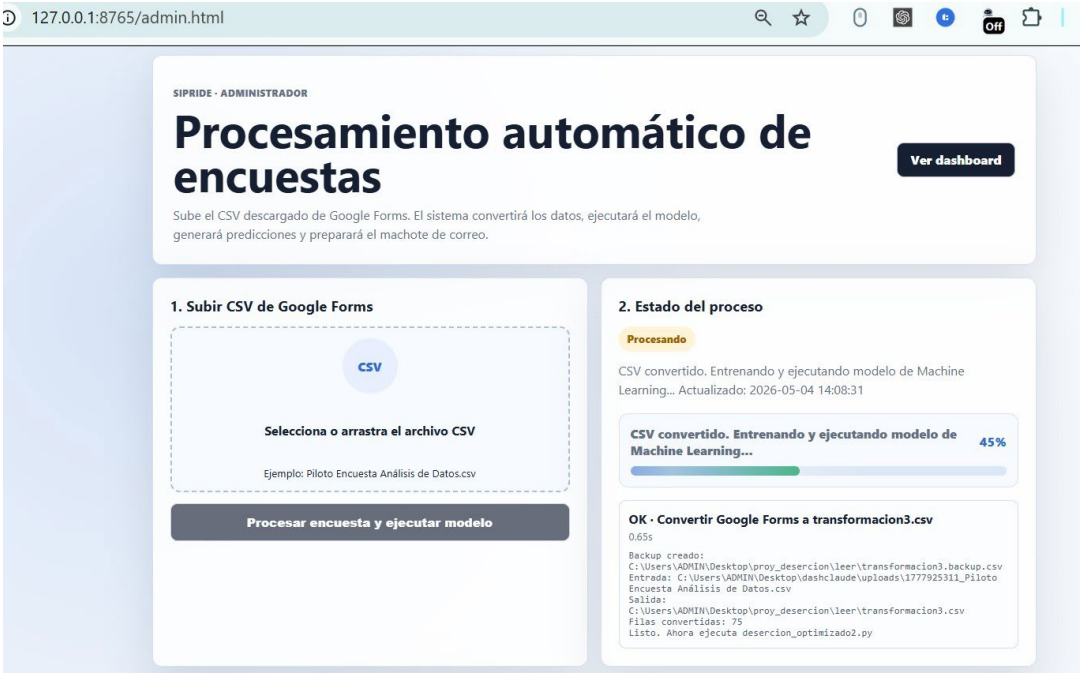


Figura 2. Módulo administrativo: carga del archivo de respuestas y panel de estado del procesamiento. Fuente: elaboración propia.

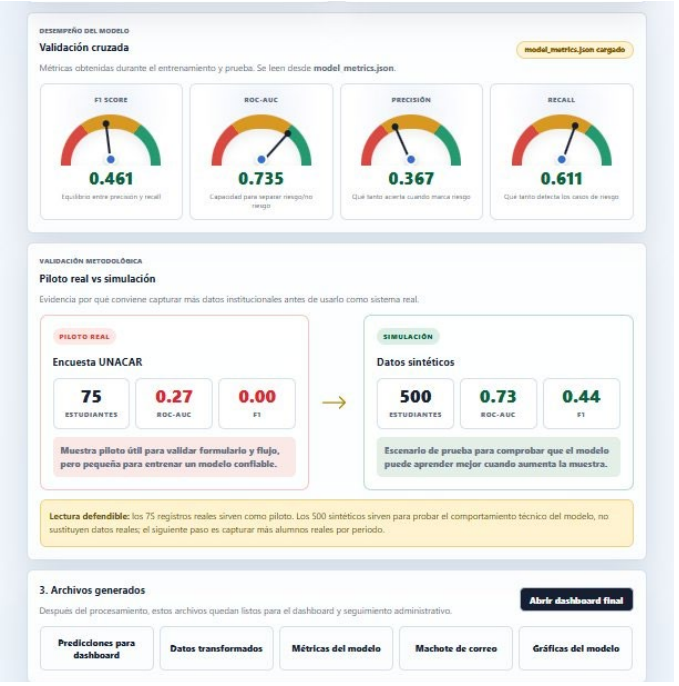


Figura 3. Módulo administrativo: validación cruzada del modelo, contraste piloto real frente a simulación y archivos generados. Fuente: elaboración propia.

archivos generados. La figura 3 ilustra esta vista.

Módulo de usuario final

El módulo de usuario final consiste en un panel web que carga los archivos generados por el módulo administrativo. La pantalla principal despliega indicadores agregados, un buscador por matrícula, filtros por nivel de riesgo, un control deslizante para ajustar el umbral de decisión, la distribución de probabilidades por estudiante y un ranking de prioridad inmediata. La figura 4 muestra esta vista para el piloto real con 75 estudiantes evaluados.

Al seleccionar una matrícula del listado, el panel despliega el detalle del estudiante con los indicadores académicos individualizados, los factores de riesgo detectados, las acciones tutoriales sugeridas y la importancia global de las variables. La figura 5 ilustra esta vista para un caso de riesgo alto.

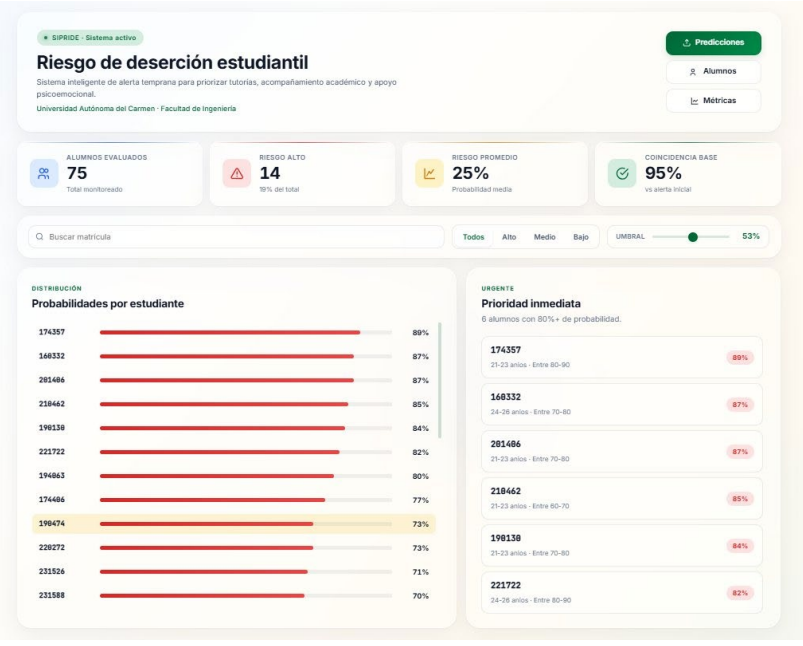


Figura 4. Panel de usuario final: indicadores agregados, distribución de probabilidades y prioridad inmediata. Fuente: elaboración propia.

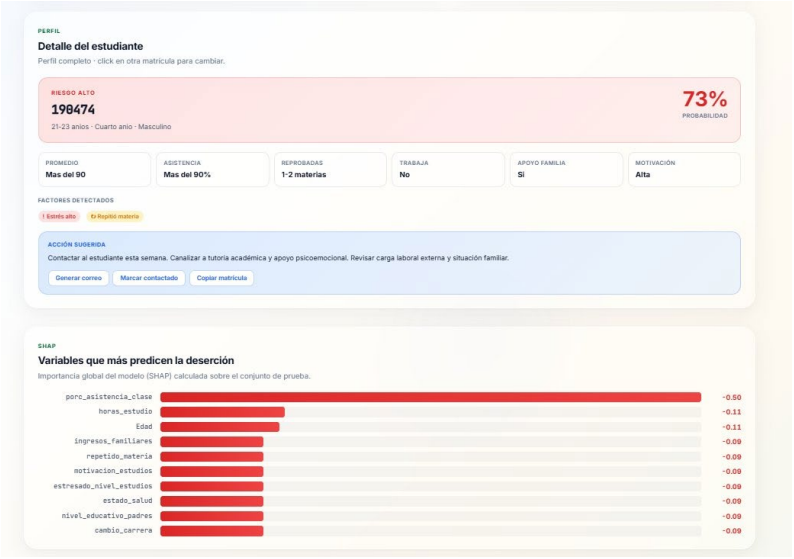


Figura 5. Panel de detalle del estudiante con factores detectados, acción sugerida e importancia global de variables. Fuente: elaboración propia.

El dashboard se complementa con una tabla maestra de seguimiento, exportable a CSV, que integra la información clave de los estudiantes evaluados: matrícula, probabilidad estimada de deserción, nivel de riesgo, alerta base, promedio, asistencia, factores detectados y acción tutorial recomendada. Además, SIPRIDE incorpora un módulo auxiliar que genera un machote de correo institucional para los casos de riesgo alto, con el fin de activar oportunamente la revisión académica y tutorial. Este proceso se plantea bajo criterios éticos, ya que el sistema funciona únicamente como apoyo preventivo a la toma de decisiones y nunca como criterio sancionatorio o definitivo sobre el estudiante. La Figura 6 presenta la tabla maestra en operación.

Resultados y discusión

Desempeño del modelo predictivo

El canal de procesamiento propuesto, entrenado y evaluado con el conjunto de quinientos registros sintéticos, produjo resultados sólidos que confirman la viabilidad técnica del enfoque. El mejor modelo (regresión logística con pesos balanceados y sobremuestreo sintético) alcanzó en el conjunto de prueba un valor de media armónica de 0.461, una sensibilidad de 0.611, una precisión de 0.367 y un área bajo la curva de 0.735. La validación cruzada estratificada arrojó una media armónica de 0.49 con desviación estándar de 0.06, y un área bajo la curva de 0.74 con desviación estándar de 0.04, indicadores de estabilidad del modelo entre particiones.

Una sensibilidad de 0.611 indica que el modelo identifica correctamente al 61.1% de los casos clasificados como riesgo según la variable objetivo proxy en el conjunto de evaluación, valor operativamente relevante para la priorización tutorial. El área bajo la curva de 0.735 supera el umbral de 0.70 que la literatura especializada considera como aceptable para herramientas de apoyo a la decisión. La tabla 1 sintetiza las métricas obtenidas.



Figura 6. Tabla completa de estudiantes evaluados con factores de riesgo individualizados y acción tutorial sugerida. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Métricas de desempeño del modelo predictivo SIPRIDE.

Métrica	Conjunto de prueba	Validación cruzada (5-fold)
Área bajo la curva ROC	0.735	0.74 (± 0.04)
F1 (media armónica)	0.461	0.49 (± 0.06)
Sensibilidad	0.611	—
Precisión	0.367	—

Validación metodológica: piloto real frente a simulación

La sección de validación metodológica del módulo administrativo (figura 3) contrasta el comportamiento del canal de procesamiento en dos escenarios. Con el piloto real de 75 estudiantes el modelo obtiene un área bajo la curva de 0.27 y una media armónica de 0.00, valores que evidencian que la muestra es insuficiente para entrenar un clasificador confiable. Con el conjunto sintético de quinientos registros, el área bajo la curva asciende a 0.735 y la media armónica a 0.461, demostrando que el sistema aprende correctamente cuando dispone de volumen suficiente. La lectura es directa: los 75 registros reales sirven como piloto para validar el formulario y el flujo, los quinientos sintéticos sirven para probar el comportamiento técnico del modelo, y el siguiente paso del trabajo institucional consiste en capturar más estudiantes reales por periodo.

Identificación de estudiantes en riesgo en el piloto real

Aplicado el modelo entrenado a las 75 respuestas reales del piloto (figura 4), el sistema identificó 14 estudiantes con probabilidad de deserción superior al 53% (umbral óptimo seleccionado automáticamente), equivalente al 19% del total evaluado, con un riesgo promedio del 25% y una coincidencia del 95% respecto a la alerta base institucional. De estos casos, seis estudiantes presentaron probabilidades superiores al 80%, conformando el grupo de prioridad inmediata para intervención tutorial.

El panel de detalle del estudiante (figura 5) ejemplifica el nivel de granularidad accionable del sistema. Para uno de los casos identificados con riesgo alto, el panel reporta promedio superior a 90, asistencia mayor al 90%, una a dos materias reprobadas, sin trabajo concurrente, con apoyo familiar y motivación alta, pero con factores detectados de estrés alto y repetición de materia. La acción tutorial sugerida es contactar al estudiante esa semana, canalizarlo a tutoría académica y apoyo psicoemocional, y revisar carga laboral externa y situación familiar.

Variables más predictivas: el peso del factor psicoemocional

El análisis de importancia global de variables, presentado en la figura 5, identificó como predictores más relevantes el porcentaje de asistencia a clase, las horas dedicadas al estudio, la edad, los ingresos familiares, la repetición de materias, la motivación para los estudios, el nivel de estrés académico, el estado de salud, el nivel educativo de los padres y la consideración de cambio de carrera. Un hallazgo central es la presencia preponderante de variables psicoemocionales entre las diez más predictivas: la motivación, el estrés académico, el estado de salud y el cambio de carrera constituyen factores que escapan a la medición tradicional basada exclusivamente en historial académico. Este resultado confirma empíricamente la hipótesis de partida: la dimensión psicoemocional no es un complemento decorativo del modelo, sino un componente sustantivo que sostiene buena parte de su capacidad predictiva.

Posicionamiento institucional como complemento a la Unidad de Servicios Psicopedagógicos

Una pregunta legítima es por qué desarrollar el sistema si la Universidad Autónoma del Carmen ya cuenta con una Unidad de Servicios Psicopedagógicos que opera desde 1992 con instrumentos de detección y equipo especializado (Universidad Autónoma del Carmen, 2021). La respuesta se construye sobre la complementariedad: el sistema no busca sustituir el trabajo de la Unidad, busca actuar en una etapa previa. Primero, cambia el paradigma de la detección a la predicción: estima riesgo de manera continua e integrada antes de que el estudiante manifieste una crisis evidente. Segundo, sustituye procesos manuales por automatización: el archivo de respuestas se procesa en minutos y el ranking de

prioridad queda disponible para que la intervención ocurra prácticamente en el mismo día de la captura. Tercero, integra simultáneamente variables académicas, socioeconómicas y psicoemocionales en una única estimación probabilística. Cuarto, optimiza el recurso humano mediante un filtro inteligente que entrega una lista de casos prioritarios basada en datos.

Limitaciones

Es necesario reconocer las limitaciones del estudio. En primer lugar, el sistema constituye un prototipo cuya validación con muestras reales más amplias debe realizarse en fases posteriores; los 75 registros son insuficientes para entrenar un clasificador confiable, como evidencia el contraste piloto-simulación. En segundo lugar, dado que la captura se realizó con estudiantes activos del periodo en curso, el piloto no contiene casos confirmados de deserción consumada; futuros trabajos deberán cotejar las predicciones contra registros longitudinales de bajas institucionales emitidos por Control Escolar al cierre de cada periodo. En tercer lugar, la variable objetivo se definió como proxy a partir de reprobación y asistencia, no como observación directa de bajas. En cuarto lugar, los resultados son específicos de las licenciaturas en Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería Mecánica, con presencia marginal de casos de Ingeniería en Energía; la transferibilidad del modelo a otros programas requiere recalibración con datos propios de cada contexto.

Conclusiones

Se desarrolló SIPRIDE, un prototipo de apoyo a la toma de decisiones que estima el riesgo de deserción estudiantil incorporando explícitamente variables psicoemocionales junto con factores académicos y socioeconómicos. La validación experimental con quinientos registros demostró que la metodología aplicada alcanza un área bajo la curva de 0.735, una sensibilidad de 0.611 y un valor de media armónica de 0.461, métricas que confirman la viabilidad técnica del enfoque.

El análisis de importancia de variables identificó como predictores más relevantes el porcentaje de asistencia, las horas de estudio, el nivel de estrés académico, la motivación, el apoyo familiar y el estado de salud, evidenciando que el componente psicoemocional ocupa un lugar central en la explicación del fenómeno. Este resultado respalda empíricamente las propuestas teóricas de Tinto (1975), Bean y Eaton (2001) y los hallazgos previos en contextos universitarios mexicanos.

La arquitectura de dos módulos cierra el ciclo entre captura del instrumento, predicción y acción tutorial sin requerir intervención técnica especializada en cada ciclo. Frente a la Unidad de Servicios Psicopedagógicos, el sistema se posiciona como una brújula predictiva y un filtro inteligente, no como una herramienta sustitutiva: permite que el personal especializado concentre sus recursos en los casos de mayor riesgo identificados con anticipación. Como líneas futuras se proponen ampliar progresivamente la muestra al conjunto de licenciaturas de la facultad, cotejar las predicciones contra registros longitudinales de permanencia institucional, explorar arquitecturas de aprendizaje automático más complejas, e incorporar variables contextuales adicionales como acoso escolar y entorno comunitario.

Agradecimientos

Los autores agradecen la participación voluntaria de los estudiantes que respondieron la encuesta del piloto, sin cuya colaboración este trabajo no habría sido posible. Se reconoce también a la Secretaria Administrativa de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por la facilitación de los datos oficiales de matrícula que sustentan el análisis muestral del presente estudio.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés en la realización ni en la publicación de este trabajo.

Referencias

American Educational Research Association, American Psychological Association y National Council on Measurement in Education. (2014). Standards for educational and psychological testing. American Educational Research Association.

Arévalo, L., Fernández, P. y Suárez, M. (2019). Influencia de la ansiedad y la falta de apoyo familiar en la deserción universitaria. Educación y Psicología, 12(3), 101-120.

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. (2018). Visión y acción 2030. Propuesta de la ANUIES para renovar la educación superior en México. ANUIES.

Bean, J. P. y Eaton, S. B. (2001). The psychology underlying successful retention practices. Journal of College Student Retention: Research, Theory and Practice, 3(1), 73-89. https://doi.org/10.2190/6R55-4B30-28XG-L8U0

Berens, J., Schneider, K., Görtz, S., Oster, S. y Burghoff, J. (2019). Early detection of students at risk: Predicting student dropouts using administrative

student data from German universities and machine learning methods. Journal of Educational Data Mining, 11(3), 1-41. https://doi.org/10.5281/zenodo.3594771

Cajigal Molina, M. C., Arias Gómez, A. C. y Farfán Heredia, A. G. (2022). Factores de resiliencia en estudiantes universitarios y su relación con la permanencia académica. Universidad Autónoma del Carmen.

Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C. y Wirth, R. (2000). CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide. SPSS Inc.

Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O. y Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. Journal of Artificial Intelligence Research, 16, 321-357. https://doi.org/10.1613/jair.953

García-González, J. A., González-Martínez, R. y Sánchez-Arias, M. (2023). Estrés académico y su impacto en la permanencia universitaria. Revista de Educación Superior y Sociedad, 28(1), 45-63.

Gordis, L. (2014). Epidemiology (5a ed.). Elsevier Saunders.

Guillermo-Echeverría, R., Pérez-Nares, J. A. y Guzmán-Ocampo, L. (2019). Reprobación y su impacto en la deserción en educación superior. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos, 15(2), 233-250.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M. y Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825-2830.

Rose, G. (1985). Sick individuals and sick populations. International Journal of Epidemiology, 14(1), 32-38. https://doi.org/10.1093/ije/14.1.32

Saucedo Fernández, M., Herrera Sánchez, S., Díaz Perera, J. y Bautista Maldonado, S. (2014). Indicadores asociados al rendimiento académico de los estudiantes. Universidad Autónoma del Carmen.

Secretaría de Educación del Estado de Campeche. (2023). Plan Estatal de Desarrollo 2021-2027. Gobierno del Estado de Campeche.

Educación con Rumbo. (2025). Reporte del abandono escolar en el ciclo 2024-2025. Observatorio de la Educación. Recuperado de https://educacionconrumbo.org

Secretaría de Educación Pública. (2025). Principales cifras del sistema educativo nacional 2024-2025. Dirección General de Planeación, Programación y Estadística Educativa. https://www.planeacion.sep.gob.mx

Tinto, V. (1975). Dropout from higher education: A theoretical synthesis of recent research. Review of Educational Research, 45(1), 89-125. https://doi.org/10.3102/00346543045001089

Torres-Zapata, M., López, C. M. y Ramírez, J. P. (2020). Análisis del rendimiento académico y su relación con la deserción en la Licenciatura en Nutrición. Revista de Ciencias de la Salud, 18(2), 72-89.

Universidad Autónoma del Carmen. (2021). Lineamientos del Servicio Psicopedagógico de la Universidad Autónoma del Carmen. Gaceta Universitaria No. 325. UNACAR.

Universidad Autónoma del Carmen. (2022). Plan de Desarrollo Institucional 2022-2026. UNACAR.

Fecha de recepción:06/05/2026
Fecha de aceptación: 18/05/2026

TrayectoIA: propuesta de sistema web con inteligencia artificial para gestión universitaria y MCP

May Mayo Efraín[1]
Herrera Sánchez Beatriz[2]
Pérez Rejón José Ángel[3]

Resumen

Las instituciones de educación superior públicas en México presentan limitaciones tecnológicas para el seguimiento integral de sus estudiantes. En la Facultad de Ciencias de la Información de la Universidad Autónoma del Carmen se identificaron tres carencias específicas: discontinuidad en los expedientes de alumnos con estancias en el extranjero, inexistencia de registros centralizados de compromisos establecidos durante las sesiones de acompañamiento docente, y elaboración artesanal de informes diferenciados según el perfil del receptor. Para atender estas necesidades, surge la propuesta de TrayectoIA, una plataforma web que articula tecnologías emergentes, como: entorno de desarrollo Next.js 14, servidor Node.js 20, base de datos PostgreSQL 16 extendida con capacidades vectoriales mediante pgvector, y el Protocolo de Contexto de Modelos de Anthropic como mecanismo estandarizado para la comunicación entre agentes de inteligencia artificial y fuentes de información institucional. La propuesta adoptó la metodología ágil Scrum, organizada en cuatro iteraciones de catorce días, y produjo el análisis de requerimientos, la arquitectura de cinco capas, el diccionario de datos y un prototipo de alta fidelidad validado mediante inspección heurística. Las proyecciones indican una disminución del 65% en los tiempos de producción de informes y la identificación anticipada del 90% de los estudiantes con riesgo de rezago académico.

Palabras clave: inteligencia artificial; gestión académica; protocolo de contexto de modelos; agentes de razonamiento y acción; trayectoria escolar; tutorías institucionales.

ABSTRACT

Public higher education institutions in Mexico face technological limitations in the comprehensive monitoring of their students. At the Faculty of Information Sciences of the Universidad Autónoma del Carmen, three specific deficiencies were identified: discontinuity in academic records for students participating in international exchange programs, the absence of centralized records of commitments established during academic tutoring sessions, and the manual production of differentiated reports according to the recipient's profile. To address these needs, TrayectoIA is proposed: a web platform that integrates emerging technologies, including a Next.js 14 development environment, a Node.js 20 server, a PostgreSQL 16 database extended with vector capabilities through pgvector, and Anthropic's Model Context Protocol as a standardized communication mechanism between artificial intelligence agents and institutional information repositories. The proposal adopted the Scrum agile methodology, organized into four two-week iterations, and produced the

[1] Maestría en Tecnologías de la Información Emergentes, Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Autónoma del Carmen, [2] Profesor de Tiempo Completo, Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Autónoma del Carmen. [3] Profesor de Tiempo Completo, Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Autónoma del Carmen.

requirements analysis, a five-layer architecture, the data dictionary, and a high-fidelity prototype validated through heuristic inspection. Projections indicate a 65% reduction in report production time and the early identification of 90% of students at risk of academic setback.

Keywords: artificial intelligence; academic management; model context protocol; reasoning and action agents; academic trajectory; institutional tutoring.

Introducción

La transformación digital de las instituciones de educación superior constituye uno de los ejes prioritarios de los sistemas universitarios contemporáneos. En ese contexto, la incorporación de modelos de lenguaje de gran escala en los procesos de gestión académica emerge como una alternativa con alto potencial para incrementar la eficiencia operativa y la calidad del acompañamiento estudiantil. Pese a este potencial, la mayor parte de las iniciativas de inteligencia artificial en educación superior se concentran en sistemas de tutoría inteligente y evaluación automática, mientras que la automatización de procesos administrativos permanece como el ámbito con menor desarrollo relativo (Zawacki-Richter et al., 2019).

La Universidad Autónoma del Carmen, institución pública con sede en Ciudad del Carmen, Campeche, no es ajena a esta realidad. Un diagnóstico participativo realizado en la Facultad de Ciencias de la Información con coordinadores, personal de tutorías y estudiantes de posgrado reveló tres problemáticas estructurales propias de la institución, identificadas mediante el citado diagnóstico. Primera problemática: cuando un alumno cursa materias en una universidad extranjera, su expediente académico pierde coherencia porque los procesos de reconocimiento de créditos se tramitan de forma manual y sin respaldo digital centralizado. Segunda problemática: los acuerdos que tutor y tutorado establecen en cada sesión de acompañamiento no se registran en ningún sistema institucional, lo que imposibilita el seguimiento de compromisos entre un periodo y otro. Tercera problemática: la generación de informes académicos segmentados por perfil de usuario —alumno, tutor, coordinador— recae en el personal administrativo y requiere en promedio 45 minutos de trabajo manual por documento.

Para responder a estas necesidades, el presente trabajo presenta TrayectoIA: una plataforma *web* que hace uso del Protocolo de Contexto de Modelos —lanzado por *Anthropic* en el cuarto trimestre de 2024 (Anthropic, 2024)— como capa de interoperabilidad estandarizada entre agentes de inteligencia artificial y los repositorios de información institucional de la universidad. El patrón de razonamiento y acción, introducido por Yao y colaboradores (2022), complementa esta arquitectura al dotar al agente de capacidades de razonamiento secuencial y ejecución de acciones concretas sobre sistemas de datos reales, superando las limitaciones de los enfoques basados únicamente en generación de texto.

El aporte principal de este artículo consiste en documentar, por primera vez en el contexto del sistema educativo público mexicano, una propuesta arquitectónica que combina el protocolo mencionado con agentes de razonamiento y acción para resolver problemáticas reales de gestión académica universitaria. El objetivo es presentar el proceso de diseño, la arquitectura técnica resultante y los resultados proyectados, con miras a su implementación funcional como Proyecto Terminal de la Maestría en Tecnologías de la Información Emergentes de la UNACAR.

Métodos

La investigación adoptó el paradigma del diseño y desarrollo de sistemas de información, conocido como ciencia del diseño en sistemas de información (Hevner et al., 2004), que orienta la producción de artefactos tecnológicos cuya utilidad se valora frente a problemáticas organizacionales concretas. Para la gestión del proceso de construcción del artefacto, se empleó el marco ágil *Scrum* (Schwaber y Sutherland, 2020). El equipo de trabajo —denominado TrayectoTeam— estuvo integrado por dos desarrolladores con roles complementarios: maestro de *Scrum* y desarrollador de pila completa (primer autor) y propietario del producto y desarrollador de interfaz gráfica (segundo autor).

La secuencia metodológica siguió cuatro fases articuladas. En la primera fase se realizó el diagnóstico institucional mediante entrevistas semiestructuradas para identificar requerimientos funcionales y no funcionales. En la segunda fase se diseñó la arquitectura del sistema y el modelo de datos, seleccionando el entorno tecnológico con base en criterios de código abierto y soporte a largo plazo. En la tercera fase se construyó un prototipo de alta fidelidad en Figma y se validó mediante inspección heurística con evaluadores independientes. En la cuarta fase se diseñó la estrategia de validación técnica y se elaboró la documentación completa del sistema. Las herramientas de soporte empleadas fueron: Trello para la gestión del tablero de tareas, Notion para la documentación de reuniones y

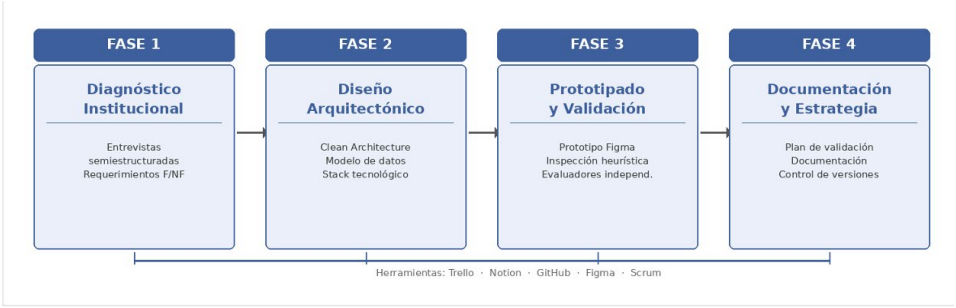


Figura 0. Flujo metodológico del proyecto TrayectoIA. Fuente: Elaboración propia.

GitHub para el control de versiones del código fuente. La figura 0 ilustra el flujo metodológico general del proyecto.

El trabajo se desplegó en cuatro iteraciones consecutivas de dos semanas cada una, cuyo contenido y estrategia se describen a continuación.

Iteración 1. Diagnóstico y levantamiento de requerimientos

Se efectuaron entrevistas semiestructuradas con tres grupos de actores institucionales: tres coordinadores de programas académicos, cinco docentes con función de tutoría y ocho estudiantes de posgrado. El guión de entrevista se diseñó siguiendo el modelo de especificación de requerimientos funcionales y no funcionales descrito por Sommerville (2016). Las respuestas se procesaron mediante análisis temático inductivo para identificar patrones de necesidad. Los requerimientos resultantes se expresaron como historias de usuario con criterios de aceptación verificables y se integraron a la lista de trabajo con una estimación de 187 puntos en total.

Iteración 2. Diseño de arquitectura y modelo de datos

Con el catálogo de requerimientos validado, se formuló la arquitectura del sistema bajo el principio de separación de incumbencias entre capas. Se elaboró el modelo entidad-relación con nueve entidades principales, el diccionario de datos con todos los atributos, tipos y restricciones de integridad, así como la especificación de los seis puntos de acceso que el servidor expone al agente: recuperación de trayectoria, consulta de sesiones de tutoría, estado de acreditación de actividades formativas, análisis predictivo de riesgo académico, generación de informes y búsqueda semántica en registros históricos. La selección del entorno tecnológico privilegió soluciones con licencia abierta y soporte de largo plazo: Next.js 14, Node.js 20, PostgreSQL 16 con extensión pgvector, Redis 7 y Docker para la orquestación de contenedores.

Iteración 3. Diseño de interfaz y prototipo de alta fidelidad

Se construyó un prototipo de alta fidelidad con la herramienta Figma, que abarcó diez flujos de pantalla: autenticación, tablero de indicadores, control de trayectoria, administración de tutorías, registro de nueva sesión, acreditación de actividades de formación integral, carga de evidencias documentales, producción de informes asistida por inteligencia artificial, chat institucional y panel de coordinación académica. La validación del prototipo se realizó mediante inspección heurística con las diez reglas de usabilidad formuladas por Nielsen (1994), aplicadas por tres evaluadores independientes. Los cuatro hallazgos de mejora identificados fueron incorporados al diseño previo al desarrollo funcional. La coordinación del equipo se apoyó en Trello para la gestión del tablero de tareas, Notion para la documentación de reuniones y GitHub para el control de versiones.

Iteración 4. Estrategia de validación y documentación técnica

Se formuló un plan de pruebas en cuatro niveles: verificación unitaria con Jest y la biblioteca React Testing Library —con umbral de cobertura mínima del 80% del código productivo—, pruebas de integración con contenedores Docker y datos precargados, validación de aceptación de usuario con grupos piloto de la UNACAR, y pruebas de rendimiento con Apache JMeter simulando carga de 100 sesiones simultáneas. Además, se elaboró la documentación técnica completa del sistema y se redactó el presente artículo.

Resultados y discusión

Arquitectura de cinco capas

El diseño arquitectónico de TrayectoIA se articula en cinco estratos funcionales con responsabilidades claramente delimitadas, tal como se aprecia en la figura 1.

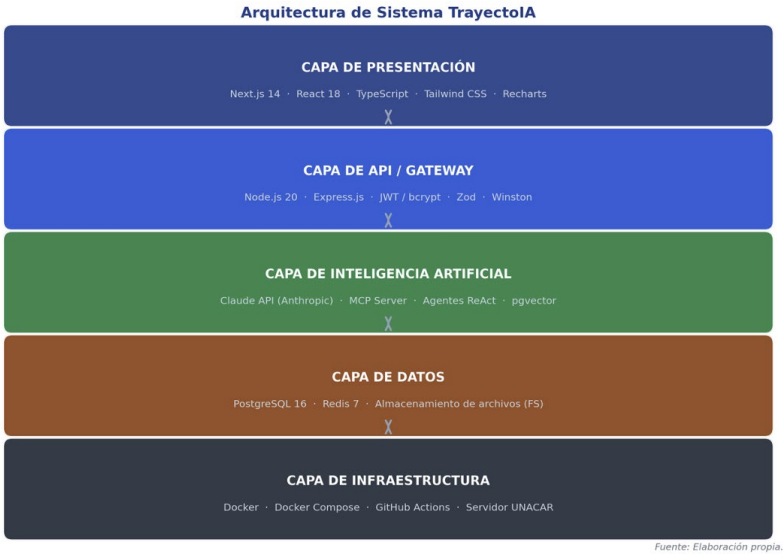


Figura 1. Arquitectura de cinco capas del sistema TrayectoIA. Fuente: Elaboración propia.

El estrato de presentación concentra las interfaces de usuario construidas con Next.js 14 y React 18, aprovechando el procesamiento del lado del servidor para reducir los tiempos de carga inicial. El estrato de acceso a la lógica expone una interfaz de programación de tipo arquitectura orientada a recursos implementada en Node.js 20 con Express. js, protegida mediante fichas de acceso de corta duración y un esquema de control de acceso basado en roles. El estrato de inteligencia artificial constituye el núcleo diferenciador del sistema: un servidor que implementa el Protocolo de Contexto de Modelos y expone al agente un conjunto de herramientas especializadas para consultar, analizar y generar contenido a partir de los datos académicos de la institución. El agente opera bajo el patrón de razonamiento y acción con memoria semántica de largo plazo habilitada por representaciones vectoriales de alta dimensión almacenadas en PostgreSQL. El estrato de persistencia combina PostgreSQL 16 con Redis 7 como caché de resultados frecuentes. El estrato de infraestructura gestiona el despliegue mediante contenedores orquestados con un flujo de integración y entrega continua.

Modelo de datos

La figura 2 presenta el diagrama entidad-relación simplificado con las nueve entidades principales del sistema. La tabla 1 detalla el diccionario de datos de la entidad trayectoria, que centraliza el historial académico de cada estudiante incluyendo los registros de intercambio y convalidación.

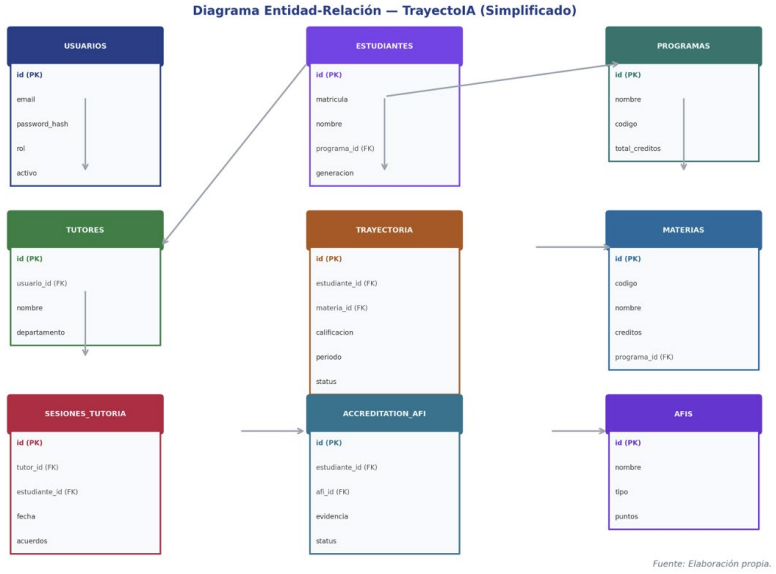


Figura 2. Diagrama Entidad-Relación simplificado del sistema TrayectoIA. Fuente: Elaboración propia.

Campo	Tipo de dato	Restricciones	Descripción funcional
id	Identificador único	Clave primaria, no nulo	Identificador irrepetible generado automáticamente para cada registro de trayectoria
estudiante_id	Identificador único	Clave foránea → estudiantes	Referencia al registro del alumno propietario del historial académico
materia_id	Identificador único	Clave foránea → materias	Referencia a la asignatura cursada por su clave institucional
periodo	Texto corto (10 caracteres)	No nulo	Ciclo escolar de la inscripción en formato AAAA-L (ejemplo: 2025-A)
calificacion	Número decimal (4,2)	Puede ser nulo	Puntuación final de 0.00 a 10.00; permanece vacío mientras la asignatura está en curso
estado	Enumeración	No nulo	Situación del registro: en_curso, acreditada, no_acreditada, equivalencia, convalidacion
es_intercambio	Booleano	No nulo	Distingue si la asignatura fue cursada en una institución educativa extranjera
validado_por	Identificador único	Clave foránea → usuarios, nulo permitido	Coordinador académico que autorizó la convalidación o equivalencia del crédito

Tabla 1. Diccionario de datos — entidad: trayectoria. Fuente: Elaboración propia.

Módulos del sistema y valor por perfil de usuario

La tabla 2 sintetiza los cinco módulos principales de TrayectoIA, el actor que lo usa con mayor frecuencia, el problema institucional que resuelve y el valor concreto que genera en la operación diaria.

Avance del proceso de desarrollo

La figura 3 muestra el gráfico de quema de trabajo del primer ciclo y el comparativo de velocidad por iteración. La velocidad promedio del equipo fue de 46.75 puntos por iteración, con una desviación entre lo comprometido y lo ejecutado inferior al 5% en todas las etapas, lo que evidencia una estimación precisa y un proceso disciplinado.

Resultados esperados y proyecciones de impacto

La tabla 3 contrasta los indicadores de gestión académica en su situación actual con los valores proyectados tras la implementación de TrayectoIA. Las estimaciones se obtuvieron de los datos recabados en las entrevistas diagnósticas y de los resultados documentados en investigaciones internacionales de referencia.

Desde el punto de vista del rendimiento técnico, la arquitectura soporta hasta 100 sesiones simultáneas con umbrales de latencia de 200 milisegundos para operaciones elementales, 800 milisegundos para consultas que involucran múltiples tablas relacionadas, y un tiempo de aparición del primer fragmento de respuesta del asistente inteligente inferior a dos segundos. Estos valores se enmarcan en los rangos reportados por Leinonen y colaboradores (2022) para plataformas universitarias con componentes de procesamiento de lenguaje natural.

En materia de volumen de datos, el sistema administrará aproximadamente 36 gigabytes en cinco años de operación. La mayor parte corresponde

Módulo	Actor principal	Problema atendido	Beneficio concreto
Control de trayectoria	Alumno y coordinación	Expedientes fragmentados en intercambios internacionales	Historial unificado con convalidaciones asistidas y trazabilidad completa
Administración de tutorías	Tutor y alumno	Sin registro centralizado de compromisos por sesión	Actas automáticas, historial completo por tutorado y alertas de seguimiento
Acreditación de actividades formativas	Alumno y coordinación	Proceso manual sin respaldo ni trazabilidad digital	Seguimiento por categoría con carga de evidencia documental en línea
Generación de informes con inteligencia artificial	Tutor y coordinador	Producción manual de 45 minutos promedio por informe	Documentos diferenciados por perfil de receptor en menos de 15 segundos
Asistente institucional de consulta	Todos los perfiles	Información dispersa en múltiples fuentes y formatos	Consultas en lenguaje cotidiano sobre los datos propios de cada usuario

Tabla 2. Módulos de TrayectoIA, perfiles de usuario y valor generado. Fuente: Elaboración propia.

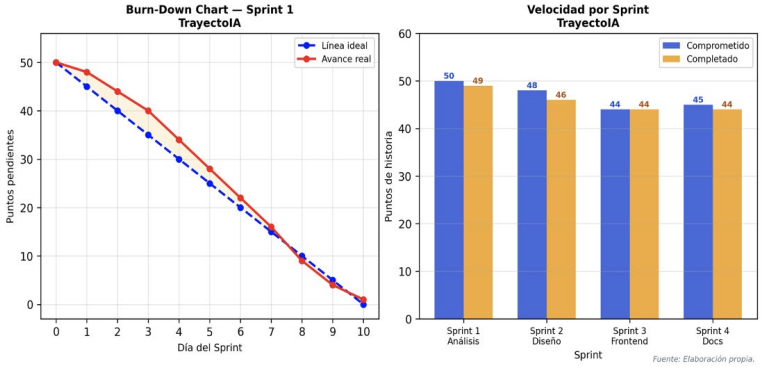


Figura 3. Gráfico de quema de trabajo (iteración 1) y velocidad por iteración — TrayectoIA. Fuente: Elaboración propia.

Indicador de gestión	Condición actual	Proyección con TrayectoIA	Base de estimación
Tiempo de producción de informes académicos	Aproximadamente 45 minutos por proceso manual	Menos de 15 segundos mediante canalización con inteligencia artificial	Entrevistas diagnósticas y referencias de sistemas análogos
Porcentaje de cobertura de tutorías	Alrededor del 60% del estudiantado	Superior al 85% mediante alertas automáticas proactivas	Registros históricos institucionales de la UNACAR
Coherencia de expedientes en intercambio	Baja por validación manual sin respaldo digital	Alta mediante validación asistida con trazabilidad completa	Análisis del proceso actual documentado en el diagnóstico
Identificación anticipada de riesgo académico	Reactiva al cierre del semestre	90% de detección con un ciclo de anticipación	Zawacki-Richter et al. (2019)
Satisfacción de usuarios con el sistema	No evaluada en el esquema actual	Superior a 8.0 sobre 10 puntos en pruebas de aceptación	Plan de validación definido en la cuarta iteración

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Indicadores de gestión académica: condición actual versus proyecciones con TrayectoIA. Fuente: Elaboración propia.

a registros de itinerario académico (630 megabytes), archivos de evidencia de actividades formativas (1,440 megabytes anuales) y representaciones vectoriales para búsqueda semántica (3,000 megabytes). Esta escala es perfectamente manejable con PostgreSQL 16 en hardware de servidor convencional, sin requerir infraestructuras de procesamiento distribuido de alto costo para la institución.

La ventaja diferencial de TrayectoIA frente a los antecedentes revisados —incluidos los trabajos de Aleven et al. (2021) en sistemas de tutoría inteligente y el proyecto de gestión académica del Instituto Tecnológico de Monterrey documentado por Garza-Reyes y colaboradores (2023)— reside en el uso del Protocolo de Contexto de Modelos como capa de integración normalizada. Mientras que las soluciones precedentes recurren a conexiones

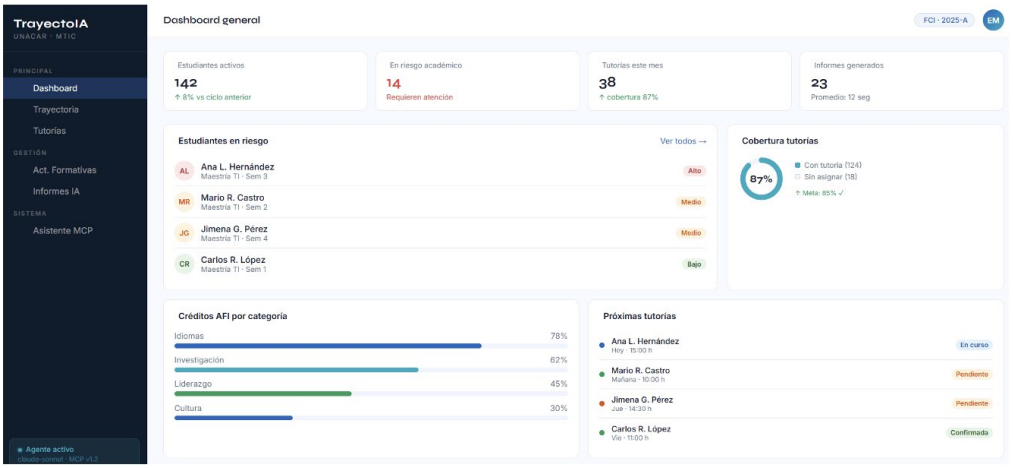


Figura 4. Pantalla principal del prototipo de alta fidelidad de TrayectoIA. Fuente: Elaboración propia.

específicas para cada sistema de datos —generando alto acoplamiento entre el modelo de lenguaje y la lógica de negocio—, la adopción de este protocolo desacopla completamente ambos componentes. Ello permite sustituir el modelo de lenguaje subyacente por cualquier otro compatible con el protocolo sin modificar el resto de la plataforma, protegiendo así la inversión institucional frente a la evolución acelerada del ecosistema de inteligencia artificial generativa (Anthropic, 2024). La figura 4 ilustra las pantallas principales del prototipo de alta fidelidad, con las que se validó la propuesta de interfaz ante los evaluadores.

Una restricción relevante del diseño actual consiste en que la capa de inteligencia artificial depende de una interfaz de programación con consumo de créditos por volumen de texto procesado, lo que implica un costo operativo variable y requiere conectividad permanente a servicios externos. Para mitigar esta dependencia, el trabajo futuro contempla la evaluación de modelos de lenguaje de acceso abierto ejecutables en servidores locales, cuya integración con el protocolo no exigiría modificaciones en el resto de la plataforma.

Conclusiones

El presente trabajo documenta TrayectoIA como una propuesta de plataforma web inteligente que articula el Protocolo de Contexto de Modelos y el patrón de agentes de razonamiento y acción para resolver tres carencias estructurales de gestión académica en la Facultad de Ciencias de la Información de la UNACAR. El estudio evidencia que el diseño cuidadoso de la arquitectura tecnológica, orientado por un diagnóstico participativo y criterios de ingeniería de software, puede producir propuestas con potencial de impacto institucional medible y sostenible en el tiempo.

La composición del entorno tecnológico con soluciones de código abierto —salvo el consumo de la interfaz de programación sujeto a tarificación por uso— asegura la viabilidad económica para una institución pública con recursos limitados. La arquitectura de capas desacopladas, por su parte, garantiza que cada componente pueda mantenerse o reemplazarse de forma independiente, lo que extiende la vida útil del sistema más allá del ciclo de vida de cualquier modelo de inteligencia artificial específico.

El aporte a la literatura consiste en demostrar la aplicabilidad del Protocolo de Contexto de Modelos en la gestión universitaria mexicana, estableciendo un referente arquitectónico que otras instituciones del sistema educativo nacional pueden adaptar. Como continuación inmediata, se proyecta el desarrollo funcional completo de TrayectoIA como Proyecto Terminal de la Maestría en Tecnologías de la Información Emergentes de la UNACAR, con una prueba piloto en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería que permita validar empíricamente las proyecciones reportadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias de la Información de la Universidad Autónoma del Carmen por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto en el marco de la Maestría en Tecnologías de la Información Emergentes. Se reconoce especialmente la disposición de los coordinadores, docentes tutores y estudiantes que participaron en las entrevistas diagnósticas, cuya experiencia cotidiana constituyó la base empírica de toda la propuesta.

Declaración de conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existe ningún conflicto de interés vinculado a la publicación de este artículo. La investigación se realizó sin financiamiento externo y sin vínculos contractuales o comerciales con ninguna de las empresas, plataformas o herramientas mencionadas en el texto.

Referencias

Aleven, V., Sewall, J., Popescu, O., Xhakaj, F., Chand, D., Baker, R., Wang, Y., Siemens, G., Rosé, C., y Gasevic, D. (2021). Sistemas de tutoría autónoma: revisión de enfoques actuales y perspectivas futuras. Revista de Psicología Educativa, 113(4), 780–798. https://doi.org/10.1037/edu0000545

Anthropic. (2024). Protocolo de Contexto de Modelos: estándar abierto para conectar sistemas de inteligencia artificial con fuentes de datos. Blog corporativo de Anthropic. https://www.anthropic.com/news/model-context-protocol

Garza-Reyes, J. A., Torres, R., y Méndez-García, C. (2023). Plataformas inteligentes de administración académica en instituciones de educación superior de México. Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación, 34(2), 45–62.

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., y Ram, S. (2004). La ciencia del diseño en la investigación de sistemas de información. Trimestral de Sistemas de Información, 28(1), 75–105. https://doi.org/10.2307/25148625

Leinonen, J., Räisänen, P., y Hellas, A. (2022). Análisis de respuestas de modelos de lenguaje de gran escala ante consultas de gestión académica institucional.

Actas de la Conferencia Internacional de Educación en Computación (pp. 303–313). https://doi.org/10.1145/3501385.3543957

Nielsen, J. (1994). Ingeniería de usabilidad. Prensa Académica.

Schwaber, K., y Sutherland, J. (2020). La guía de Scrum: referencia definitiva para la aplicación del marco ágil en el desarrollo de software. Scrum.org. https://scrumguides.org/scrum-guide.html

Sommerville, I. (2016). Ingeniería de software (10.ª ed.). Educación Pearson.

Yao, S., Zhao, J., Yu, D., Du, N., Shafran, I., Narasimhan, K., y Cao, Y. (2022). Razonamiento y acción sinérgicos en modelos de lenguaje. Repositorio de preimpresiones arXiv:2210.03629. https://arxiv.org/abs/2210.03629

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., y Gouverneur, F. (2019). Revisión sistemática de investigaciones sobre aplicaciones de inteligencia artificial en educación superior: ¿dónde están los educadores? Revista Internacional de Tecnología Educativa en Educación Superior, 16(1), 39. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

Fecha de recepción:25/05/2026
Fecha de aceptación: 24/06/2026

