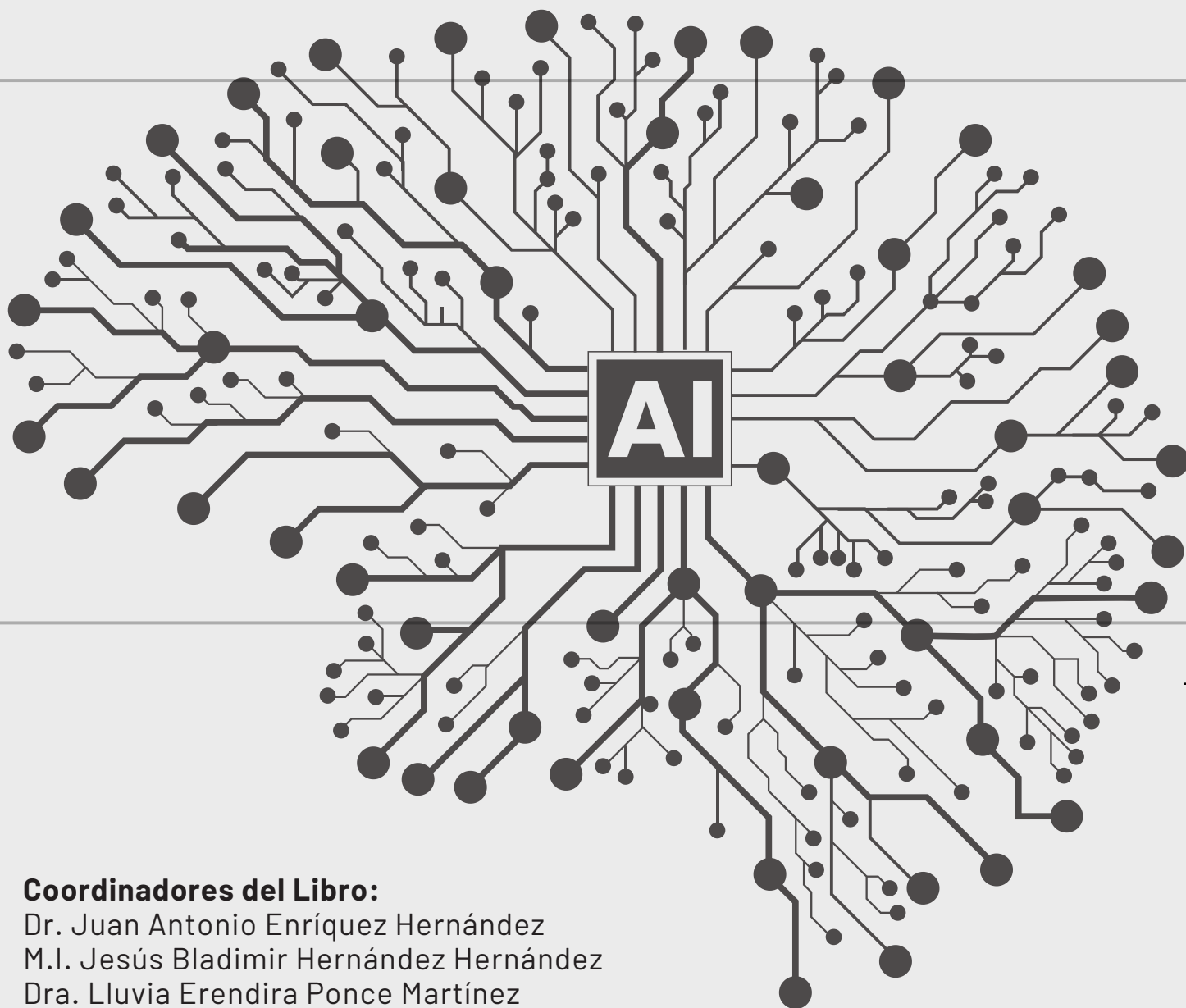


IA Y EDUCACIÓN SUPERIOR

ALIANZA O AMENAZA



Coordinadores del Libro:

Dr. Juan Antonio Enríquez Hernández
M.I. Jesús Bladimir Hernández Hernández
Dra. Lluvia Erendira Ponce Martínez

IA y Educación Superior: Alianza o Amenaza

IA y Educación Superior: Alianza o Amenaza

Coordinadores

Dr. Juan Antonio Enríquez Hernández

M.I. Jesús Bladimir Hernández Hernández

Dra. Lluvia Erendira Ponce Martínez

AI and Higher Education: Alliance or Threat

Coordinators

Dr. Juan Antonio Enríquez Hernández

M.I. Jesús Bladimir Hernández Hernández

Dra. Lluvia Erendira Ponce Martínez

Equipo Editorial | Editorial Team

Mg. (C) Bryam Alejandro Colan Hernandez
Director Editorial | Editorial Director

Dr. José Ramón Zavala Ramírez
Editor en Jefe | Editor-in-Chief

Jaime Manuel Castillo Estela
Diseño y portada | Desing and cover

Comité Editorial

Dra. Patricia Guadalupe Gamboa Rodríguez

Dr. Manuel Iván Tostado Ramírez

Dr. Juan Francisco Peraza Garzón

Dra. Ana Isabel Bonilla Calero

Dra. Virginia Lagunes Barradas

© EducaID Scientific E. I. R. L.
Sello Editorial Sinergy

Domicilio Legal: Calle San José 401, San
Miguel, Pisco, Ica – Perú.

Edición: 2026/12/30

Correo electrónico - E-mail:
sinergy@educaidscientific.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available
for free download at |
sinergy.educaidscientific.com

Este título se publica bajo una licencia de
Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0
Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

This title is published under an Attribution-
NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC
BY-NC-SA 4.0) license.



CITAR COMO [APA 7]

Enríquez Hernández, J. A., Hernández Hernández, J. B., & Ponce Martínez, L. E. (Coords.). (2025). *IA y educación superior: Alianza o amenaza*. Editorial Sinergy. <https://sinergy.educaidscientific.com/index.php/sinergy/catalog/book/11>

Derecho de autor | Copyright: Editorial Sinergy, Juan Antonio Enríquez Hernández, Jesús Bladimir Hernández Hernández y Lluvia Eréndira Ponce Martínez

Primera Edición | First Edition: 2025

Editorial | Publisher: Editorial Sinergy

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: JNLF - Tecnología educativa | KJC – Emprendimiento | UYQ - Inteligencia artificial | TBC - Tecnología

BISAC: EDU039000 | BUS025000 | EDU015000 | COM004000

Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic

Colección | Collection: Educación

Soporte | Format: PDF / Digital

Publicación | Publication date: 2025-12-30

ISBN: 978-612-49990-8-6

Depósito Legal | Legal Deposit: N° 2025-14970

Título | Title: IA y Educación Superior: Alianza o Amenaza | AI and Higher Education: Alliance or Threat

Revisión por pares

Cada capítulo de este libro ha sido evaluado mediante un proceso de dictaminación a cargo de académicos externos bajo la modalidad de doble par ciego. En consecuencia, la investigación presentada cuenta con el respaldo de expertos en la materia, quienes han emitido una valoración objetiva basada en criterios científicos para garantizar la solidez académica de la obra.

Peer Review

Each chapter of this book has been evaluated through a double-blind peer review process by external academics. Consequently, the research presented is supported by experts in the field, who have issued an objective assessment based on scientific criteria to ensure the academic soundness of the work.

Coordinadores del libro / Book Coordinator

Juan Antonio Enríquez Hernández

Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca

 0000-0002-3314-4532 | juan.enriquez@itsta.edu.mx

Licenciado en informática administrativa por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Maestro en ciencias de la administración con especialidad en informática por la Universidad Valle del Bravo. Doctor en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica. Docente del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca.

Jesús Bladimir Hernández Hernández

Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca

 0009-0007-4081-1069 | jbladimir.hernandez@itsta.edu.mx

Licenciado en Informática por el Instituto Tecnológico de Cerro Azul. Maestro en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad por el Instituto Tecnológico de Monterrey. Docente del programa educativo de ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca.

Lluvia Eréndira Ponce Martínez

Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca

 0000-0002-2302-9899 | lluvia.ponce@itsta.edu.mx

Licenciada en informática por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Maestra en Ciencias de la Computación por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Doctora en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica. Docente del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca.

Autores del libro / Authors of the book

Capítulo 1

Juan Pablo Mojica Sánchez

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula

 **0000-0003-2561-9689** | juan.mojica@tamazula.tecmm.edu.mx

Químico farmacéutico biólogo por la Universidad de Colima de México. Doctorado en Ciencias Químicas con la especialidad en Química Computacional y Teórica en la misma universidad. Profesor de tiempo completo asociado B adscrito al Departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula.

Francisco Miguel Hernández López

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula

 **0000-0001-9546-0445** | francisco.hernandez@tamazula.tecmm.edu.mx

Ingeniero en Electromecánica por el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula de México. Maestro en Enseñanza de las Matemáticas por el Instituto Universitario de las Américas y el Caribe de México. Doctor en Enseñanza de las Matemáticas por la Universidad de las Américas y el Caribe de México. Profesor de asignatura B adscrito al Departamento de Ingeniería en Electromecánica del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula de México. Profesor de asignatura B adscrito a la Escuela Preparatoria Regional de Tuxpan de la Universidad de Guadalajara de México.

Jorge Alberto Cárdenas Magaña

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula

 **0000-0001-9114-8550** | jorge.cardenas@tamazula.tecmm.edu.mx

Ingeniero Eléctrico por el Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán de México. Maestro en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos por la Universidad Internacional

Iberoamericana en México. Candidato a doctor en Ingeniería Aplicada por la Universidad Tenam de México. Profesor de tiempo completo titular A adscrito al Departamento de Ingeniería en Electromecánica en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula. Gerente General en la empresa Servicios Eléctricos Profesionales.

Guadalupe Ruíz Ibarra

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula

 0000-0001-8662-1892 | guadalupe.ruiz@tamazula.tecmm.edu.mx

Ingeniera en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora en México, Maestría en Biotecnología Productiva por CIBA-IPN de México. Profesor de tiempo completo asociado B adscrito al Departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Tamazula.

Capítulo 2

Esmeralda Cuervo Del Ángel

Instituto Nacional de México, Campus Tantoyuca

 0009-0006-2303-1338 | esmeralda.cuervo@itsta.edu.mx

Licenciada en Comercio Exterior por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Maestría en Administración por la Universidad del Golfo. Doctorado en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica. Docente principal del Instituto Nacional de México, Campus Tantoyuca.

Sergio Iván Merinos Herrera

Instituto Nacional de México, Campus Tantoyuca

 0000-0003-3453-8899 | sergio.merinos@itsta.edu.mx

Ingeniero Mecánico por el Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Madero. Maestría en Administración Industrial por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Docente principal Instituto Nacional de México, Campus Tantoyuca.

Rosalía Santiago Antonio

Instituto Nacional de México, Campus Tantoyuca



0009-0006-5328-4109 | rosalia.santiago@itsta.edu.mx

Ingeniero Industrial por el Tecnológico Nacional De México Campus Tantoyuca. Maestría en Ingeniería Industrial por Tecnológico Nacional de México Campus Tantoyuca. Docente principal del Instituto Nacional de México, Campus Tantoyuca.

Erick Orlando Merinos Herrera

Instituto Nacional de México, Campus Ciudad Madero



0009-0009-9777-3985 | erick.mh@cdmadero.tecnm.mx

Ingeniero Industrial por el Tecnológico Nacional De México Campus Ciudad Madero. Maestría en Administración de los Sistemas de Calidad por la Universidad Valle de México. Doctorado en Educación por la Universidad del Golfo. Docente principal Instituto Nacional de México, Campus Ciudad Madero.

Capítulo 3**Jesús Bladimir Hernández Hernández**

Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca



0009-0007-4081-1069 | jbladimir.hernandez@itsta.edu.mx

Licenciado en Informática por el Instituto Tecnológico de Cerro Azul. Maestro en Ingeniería con especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad por el Instituto Tecnológico de Monterrey. Docente del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca.

Juan Antonio Enríquez Hernández

Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca

 0000-0002-3314-4532 | juan.enriquez@itsta.edu.mx

Licenciado en Informática Administrativa por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Maestro en Ciencias de la Administración con especialidad en Informática por la Universidad Valle del Bravo. Doctor en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica. Docente del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca.

Lluvia Eréndira Ponce Martínez

Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca

 0000-0002-2302-9899 | lluvia.ponce@itsta.edu.mx

Licenciada en Informática por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Maestra en Ciencias de la Computación por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Doctora en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica. Docente del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México, campus Tantoyuca.

Capítulo 4

Esther Mariela Arzate Escamilla

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas

 0009-0000-7997-5596 | m-arzatee@choapas.tecnm.mx

Médico Veterinario Zootecnista por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Máster en Producción Agroalimentaria en el Trópico por el Colegio de Posgraduados. Doctora en Sostenibilidad por la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores. Profesora-Investigadora del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas.

María de la Luz Sánchez Mundo

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas

 [0000-0001-9065-5681 | l-sanchezm@choapas.tecnm.mx](mailto:l-sanchezm@choapas.tecnm.mx)

Químico Farmacéutico Biólogo por la Universidad Veracruzana. Master en Producción Agroalimentaria en el Trópico por el Colegio de Posgraduados. Doctora en Ciencias en Alimentos por el Instituto Politécnico Nacional. Profesora-Investigadora del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas.

Javier Salmerón López

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas

 [0009-0002-2786-2500 | jasalo.investigacion@gmail.com](mailto:jasalo.investigacion@gmail.com)

Licenciado en contaduría por la Universidad Veracruzana de México. Maestro en Ingeniería Administrativa por el Instituto de Estudios Universitarios del Estado de Veracruz de México. Doctor en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica de México. Profesor-Investigadora del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas.

Adelfo García-Ceja

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza

 [0000-0002-3476-2818 | adelfo.ceja@itsvc.edu.mx](mailto:adelfo.ceja@itsvc.edu.mx)

Ingeniero en Alimentos por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Maestría en Ciencia de Alimentos por la Universidad de las Américas Puebla. Docente investigador asociado A del Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza de la carrera de ingeniería en industrias alimentarias.

Contenido

Coordinadores del libro / Book Coordinator	VII
Autores del libro / Authors of the book	VIII
Contenido	XIII
Índice de Tablas	XV
Índice de Figuras	XVI
Resumen	18
Prólogo	20

Capítulo 1	22
-------------------------	----

Enseñanza de la Química en la Era Digital: Simulación Molecular, Big Data e Inteligencia Artificial

Juan Pablo Mojica Sánchez, Francisco Miguel Hernández López, Jorge Alberto Cárdenas Magaña & Guadalupe Ruíz Ibarra

Capítulo 2	46
-------------------------	----

Gestión del cambio en la era de la IA: desafíos y oportunidades para la administración del talento humano

Esmeralda Cuervo-Del-Ángel, Sergio Iván Merinos Herrera, Rosalía Santiago Antonio & Erick Orlando Merinos Herrera

Capítulo 3	59
-------------------------	----

La Inteligencia Artificial como Herramienta Disruptiva en el Aprendizaje de Programación

Jesús Bladimir Hernández Hernández, Juan Antonio Enríquez Hernández & Lluvia Eréndira Ponce Martínez

Capítulo 4..... 71

Estudio de vida de anaquel y calidad sensorial de salsas probióticas de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), en Las Choapas

Esther Mariela Arzate Escamilla, María de la Luz Sánchez Mundo, Javier Salmerón López & Adelfo García-Ceja

Índice de Tablas

Capítulo 1	22
Tabla 1. <i>Limitaciones de los enfoques tradicionales en la enseñanza de la química.</i> ...	24
Tabla 2. <i>Programas de Química Computacional: Opciones Gratuitas.</i>	26
Tabla 3. <i>Programas de Química Computacional: Opciones con Licencia Comercial.</i> ...	26
Tabla 4. <i>Plataformas Educativas con Simulaciones para la Enseñanza de la Química.</i>	27
 Capítulo 2	46
Tabla 1. <i>Retos y perspectivas de la IA en la administración del talento humano</i>	51
Tabla 2. <i>Impacto de la IA en la gestión empresarial y el capital humano</i>	52
Tabla 3. <i>Aplicaciones y desafíos éticos de la IA en administración del capital humano</i>	53
Tabla 4. <i>Principales hallazgos e interpretación.</i>	54
Tabla 5. <i>Impacto estratégico de la IA en la gestión empresarial</i>	54
 Capítulo 4	71
Tabla 1. <i>Formulación con diferentes porcentajes de aceite</i>	75
Tabla 2. <i>Resultados de análisis sensorial</i>	77
Tabla 3. <i>Determinación de acidez titulable</i>	78
Tabla 4. <i>Determinación de pH</i>	79
Tabla 5. <i>Determinación de color</i>	79
Tabla 6. <i>Viabilidad microbiana</i>	80

Índice de Figuras

Capítulo 1	22
Figura 1. Divisiones de la Química Computacional y su Integración con IA y Big Data.	25
Figura 2. Uso de un asistente virtual educativo para la enseñanza de la química en una escuela de Hubei, China. Fuente: Tomado de la red social Reddit.	29
Figura 3. Funcionamiento del Cluster LeoAtrox de la Universidad de Guadalajara	30
Figura 4. Diseño del formulario de percepción de los alumnos de la enseñanza de la química en la época moderna.	32
Figura 5. Estudiantes utilizando modelos tradicionales y físicos para construcción de moléculas.	33
Figura 6. Visualización de modelos moleculares utilizando el programa SPARTAN 08: (a) segmento de ADN, (b) aminoácido.	33
Figura 7. Uso de ORCA en la terminal de Linux para simular las conformaciones del ciclohexano.	34
Figura 8. Gráfica del perfil energético del ciclohexano según su conformación: silla, bote, media silla realizado por un equipo de estudiantes, en su clase de química.	34
Figura 9. Medición del pH del agua utilizando potenciómetro y uso del simulador PhET para comprensión de la acidez y basicidad a nivel molecular.	35
Figura 10. Simulación de una valoración ácido-base de una disolución de ácido clorhídrico (HCl) de concentración desconocida con NaOH 0.2 M y anotaciones de resultados en cuaderno de alumno.	36
Figura 11. Proyecto estudiantil de simulación de la afinidad de azúcares por la enzimática alcohol deshidrogenasa mediante docking molecular.	37
Figura 12. Nivel de acuerdo de los estudiantes con respecto a la facilidad de uso de las herramientas digitales.	39
Figura 13. Percepción estudiantil sobre la utilidad de las herramientas digitales en la enseñanza de la química.	40
Figura 14. Disposición del alumnado para seguir utilizando herramientas digitales en su formación profesional.	41
Capítulo 3	59
Figura 1. Percepción sobre como IA puede reducir el esfuerzo necesario para resolver problemas, afectando el aprendizaje.	64
Figura 2. Herramientas de Inteligencia Artificial más comúnmente utilizadas	64
Figura 3. Obstáculos en el uso de herramientas de Inteligencia Artificial observados por los estudiantes.	65

Figura 4. <i>Impacto del uso de Inteligencia Artificial en el aprovechamiento académico</i>	65
Figura 5. <i>Áreas específicas de formación de mayor impacto al utilizar la Inteligencia Artificial en actividades prácticas</i>	66
Figura 6. <i>Percepción estudiantil del impacto negativo de la Inteligencia Artificial en la solución independiente de problemas</i>	66
Capítulo 4	71
Figura 1. <i>Ficha técnica de la salsa probiótica</i>	76

Resumen

La penetración de la inteligencia artificial en el ámbito educativo ha dejado de ser una predomino futurista para convertirse en algo real, tangible y transformador. En algunas carreras de educación superior, su integración plantea un dilema profundo y preocupante, pero a su vez fascinante: ¿La IA constituye una aliada estratégica para la innovación pedagógica, la investigación y aprendizaje significativo, o representa, por el contrario, una amenaza para el desarrollo de competencias fundamentales, la equidad y la esencia misma del proceso formativo? Este libro no busca ofrecer una respuesta unilateral, sino el de un análisis multifacético y crítico a través de la visión de cuatro investigaciones concretas que ejemplifican los logros y tensiones de esta nueva era digital.

Los trabajos que componen este apartado emergen de distintos campos del conocimiento, demostrando la transversalidad del impacto de la IA y las tecnologías asociadas: El primero nos transporta al fascinante mundo de la química, ahora potenciado digitalmente. Allí, la simulación molecular, el big data y los algoritmos de inteligencia artificial han dejado de ser herramientas exclusivas de investigación para convertirse en pilares didácticos. Esta contribución evidencia cómo el uso de la IA es un poderoso aliado, fomentando un aprendizaje participativo, activo, visual y contextualizado a un entorno en particular, que acerca al estudiante a problemas científicos complejos de manera segura e inspiradora.

Sin embargo, el escenario se vuelve más complejo al cambiar de ámbito. El segundo estudio nos sitúa en el terreno de la administración y la gestión del talento humano dentro de las instituciones empresariales. La IA promete enfocar y optimizar procesos de reclutamiento, formación y desarrollo profesional, lo que puede representar una alianza para la eficiencia organizacional. No obstante, la investigación también revela los desafíos subyacentes: la necesidad de una actualización constante de competencias con el fin de evitar el riesgo de obsolescencia y la urgencia de crear una cultura organizacional capaz de asimilar el cambio tecnológico de manera ética y equitativa. Aquí, la disrupción aliada/amenaza se manifiesta en la gestión de las personas que, a su vez, son las encargadas de formar a las nuevas generaciones.

La tensión alcanza su punto más crítico en el tercer artículo, que examina el aprendizaje de la programación. La IA se erige aquí como una herramienta de doble filo. Por un lado, es un tutor incansable que ofrece retroalimentación inmediata y personalización, acelerando la curva de aprendizaje. Por el otro, su uso prematuro o indiscriminado puede generar una peligrosa dependencia, suplantando la construcción de la lógica computacional y el pensamiento algorítmico esencial. Este trabajo pone el acento en el riesgo de que la herramienta disruptiva termine erosionando las bases mismas de la disciplina que pretende enseñar, convirtiéndose en una amenaza para la autonomía cognitiva del estudiante si no se media con una estrategia educativa sólida.

Finalmente, el cuarto estudio, aunque centrado en la ciencia de los alimentos, aporta una reflexión metodológica invaluable. Al emplear un diseño experimental riguroso y análisis de datos para evaluar la vida útil de un producto, nos recuerda que el núcleo de la educación superior sigue siendo el método científico, el pensamiento crítico y la validación empírica. En un mundo impulsado por datos y algoritmos, este trabajo sirve como contrapunto y

recordatorio: la tecnología más avanzada debe estar al servicio de la indagación sistemática y la solución de problemas reales, no como un fin en sí misma.

En conjunto, estos cuatro artículos tejen un discurso coherente sobre la compleja encrucijada que enfrenta la educación superior. La inteligencia artificial es un ecosistema de herramientas cuyo valor “ya sea como aliada o como amenaza” se define por el contexto de su aplicación, la intencionalidad pedagógica, la formación docente y los marcos éticos que la orienten. Esta introducción y los capítulos que le siguen, invitan al lector a adentrarse en un análisis ponderado y situado, donde el verdadero reto no es adoptar o rechazar la IA, sino aprender a utilizarla con sabiduría, crítica y responsabilidad para que, efectivamente, se consolide como la gran aliada del intelecto humano que promete ser.

Prólogo

La educación superior vive uno de los momentos más trascendentales de su historia. La irrupción de la inteligencia artificial no solo ha transformado la forma en que accedemos a la información, sino también la manera en que enseñamos, aprendemos, investigamos y tomamos decisiones. Frente a este escenario, surgen posturas encontradas: entusiasmo, incertidumbre, innovación, resistencia. En medio de estas tensiones nace la pregunta que da sentido a esta obra: ¿la inteligencia artificial es una alianza o una amenaza para la educación superior?

Este libro no busca respuestas simples ni posturas extremas. Por el contrario, ofrece una mirada reflexiva, crítica y profundamente contextualizada a través de cuatro estudios que, desde distintos campos del conocimiento, muestran cómo la IA se inserta en la práctica académica real. Esa diversidad disciplinar es, precisamente, una de sus mayores fortalezas: la inteligencia artificial no pertenece a un solo ámbito, sino que atraviesa la ciencia, la tecnología, la gestión y la vida cotidiana.

En la enseñanza de la química, observamos cómo las simulaciones moleculares, el análisis de datos y las herramientas inteligentes permiten visualizar lo invisible, comprender procesos complejos y acercar al estudiante a problemas reales con mayor seguridad y profundidad. Aquí, la IA se presenta como un puente entre la teoría y la experiencia, potenciando el aprendizaje activo y significativo.

Desde la gestión del talento humano, la obra nos recuerda que la transformación digital no es solo tecnológica, sino también humana. La IA puede optimizar procesos, apoyar la toma de decisiones y fortalecer el desarrollo profesional; sin embargo, también exige nuevas competencias, una cultura organizacional flexible y una reflexión ética permanente. La tecnología avanza, pero son las personas quienes deben darle sentido.

En el ámbito del aprendizaje de la programación, el debate se vuelve especialmente delicado. La inteligencia artificial puede convertirse en un tutor constante, capaz de orientar, corregir y acompañar. Pero también puede generar dependencia si sustituye la construcción del pensamiento lógico y algorítmico. Este contraste ilustra con claridad que el valor de la IA no radica únicamente en su capacidad técnica, sino en cómo se integra pedagógicamente.

Finalmente, el estudio sobre alimentos probióticos nos conecta con la esencia del quehacer científico: observar, medir, experimentar y validar. En un contexto donde los datos y los algoritmos adquieren protagonismo, este trabajo recuerda que la tecnología debe estar al servicio del método, del pensamiento crítico y de la solución de problemas reales que impactan a la sociedad.

En conjunto, los capítulos que conforman esta obra muestran que la inteligencia artificial no es, por sí misma, ni aliada ni amenaza. Su papel depende de la intención educativa, del acompañamiento docente, de los marcos éticos y de la formación de estudiantes capaces de

pensar, cuestionar y crear con autonomía. La verdadera transformación no proviene de las herramientas, sino del uso consciente que hacemos de ellas.

Que este libro sirva como punto de partida para el diálogo, la reflexión y la construcción colectiva de una educación superior que no tema a la tecnología, pero que tampoco renuncie a su responsabilidad formativa, humana y social. La IA puede ser una gran aliada, siempre que el criterio, la ética y el pensamiento crítico sigan ocupando el centro del proceso educativo.

Cita APA 7ma edición: Mojica Sánchez, J. P., Hernández López, F. M., Cárdenas Magaña, J. A., & Ruíz Ibarra, G. (2025). Enseñanza de la química en la era digital: Simulación molecular, big data e inteligencia artificial. En J. A. Enríquez Hernández, J. B. Hernández Hernández, & L. E. Ponce Martínez (Coords.), *IA y educación superior: Alianza o amenaza* (pp. 22-45). Editorial Sinergy.

Capítulo 1

Enseñanza de la Química en la Era Digital: Simulación Molecular, Big Data e Inteligencia Artificial

Teaching Chemistry in the Digital Age: Molecular Simulation, Big Data, and Artificial Intelligence

Juan Pablo Mojica Sánchez

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel
y Henríquez Unidad Académica Tamazula



0000-0003-2561-9689 | juan.mojica@tamazula.tecmm.edu.mx

Francisco Miguel Hernández López

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel
y Henríquez Unidad Académica Tamazula



0000-0001-9546-0445 | francisco.hernandez@tamazula.tecmm.edu.mx

Jorge Alberto Cárdenas Magaña

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel
y Henríquez Unidad Académica Tamazula



0000-0001-9114-8550 | jorge.cardenas@tamazula.tecmm.edu.mx

Guadalupe Ruíz Ibarra

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel
y Henríquez Unidad Académica Tamazula



0000-0001-8662-1892 | guadalupe.ruiz@tamazula.tecmm.edu.mx

Resumen

La era digital ha transformado profundamente la enseñanza de la Química. Este capítulo analiza cómo la simulación molecular, el Big Data y la inteligencia artificial están siendo integrados en la educación superior, permitiendo nuevas formas de enseñar, aprender y aplicar conceptos químicos. Se presentan experiencias desarrolladas en instituciones mexicanas donde se utilizaron herramientas computacionales para visualizar moléculas, simular interacciones y modelar procesos químicos y biológicos.

Los resultados muestran que el uso de estas tecnologías fortalece la comprensión de estructuras moleculares, fomenta el aprendizaje activo y favorece la conexión con problemas del mundo real. En cursos de química, los estudiantes lograron interpretar conformaciones moleculares complejas y explorar su estabilidad mediante cálculos computacionales. En química analítica, las simulaciones permitieron experimentar valoraciones ácido-base de forma segura y didáctica. En sistemas biológicos, se modelaron interacciones entre enzimas y compuestos contaminantes, proponiendo soluciones con base científica a problemáticas ambientales y biotecnológicas.

Las percepciones estudiantiles reflejan una alta aceptación de estas herramientas digitales, destacando su utilidad, facilidad de acceso y capacidad para motivar el aprendizaje. A pesar de ciertos retos técnicos, los estudiantes mostraron disposición para continuar usándolas a lo largo de su formación profesional. Este capítulo concluye que, cuando se implementan con acompañamiento docente y una planeación adecuada, las herramientas digitales pueden transformar significativamente la educación química, haciéndola más accesible, interactiva y contextualizada.

Palabras clave: Simulación molecular, Inteligencia artificial, Big Data, Educación química, Modelado computacional

Abstract

The digital era has profoundly transformed chemistry education. This chapter analyzes how molecular simulation, Big Data, and artificial intelligence are being integrated into higher education, enabling new ways to teach, learn, and apply chemical concepts. It presents case studies from Mexican institutions where computational tools were used to visualize molecules, simulate interactions, and model chemical and biological processes.

Findings indicate that these technologies enhance understanding of molecular structures, promote active learning, and strengthen the connection to real-world challenges. In chemistry courses, students interpreted complex molecular conformations and explored their stability using computational methods. In analytical chemistry, simulations allowed safe and structured acid-base titration experiments. In biological systems, students modeled interactions between enzymes and environmental contaminants, proposing scientifically grounded solutions to pressing issues.

Student perceptions reflect a high level of acceptance of digital tools, emphasizing their usefulness, accessibility, and ability to increase motivation. Despite technical challenges, students expressed interest in continuing to use these tools throughout their academic journey. The chapter concludes that, when implemented with appropriate pedagogical guidance, digital technologies can significantly enrich chemistry education, making it more accessible, interactive, and relevant.

Keywords: Molecular simulation, Artificial intelligence, Big Data, Chemistry education, Computational modeling

Introducción

En las últimas décadas, la educación científica ha experimentado un cambio sin precedentes impulsada por los avances tecnológicos, especialmente en el contexto de la era digital. En el caso de la química, disciplina caracterizada por su alto nivel de abstracción, la incorporación de herramientas digitales ha abierto nuevas posibilidades para la enseñanza y el aprendizaje. Tecnologías como la simulación molecular, el análisis de Big Data y la inteligencia artificial están revolucionando la manera en que los conceptos químicos son comprendidos, enseñados y aplicados, tanto en el aula como en el laboratorio (Ali et al., 2023).

Tradicionalmente, la enseñanza de la química se ha apoyado en modelos teóricos, experimentos presenciales y la representación simbólica de estructuras y reacciones. Sin embargo, estas metodologías suelen presentar limitaciones cuando se carece de infraestructura adecuada o de recursos suficientes para realizar prácticas experimentales (Arenas et al., 2023; Chavez-Gómez y Cuaran-Ceballos, 2024) (Tabla 1).

Tabla 1. Limitaciones de los enfoques tradicionales en la enseñanza de la química.

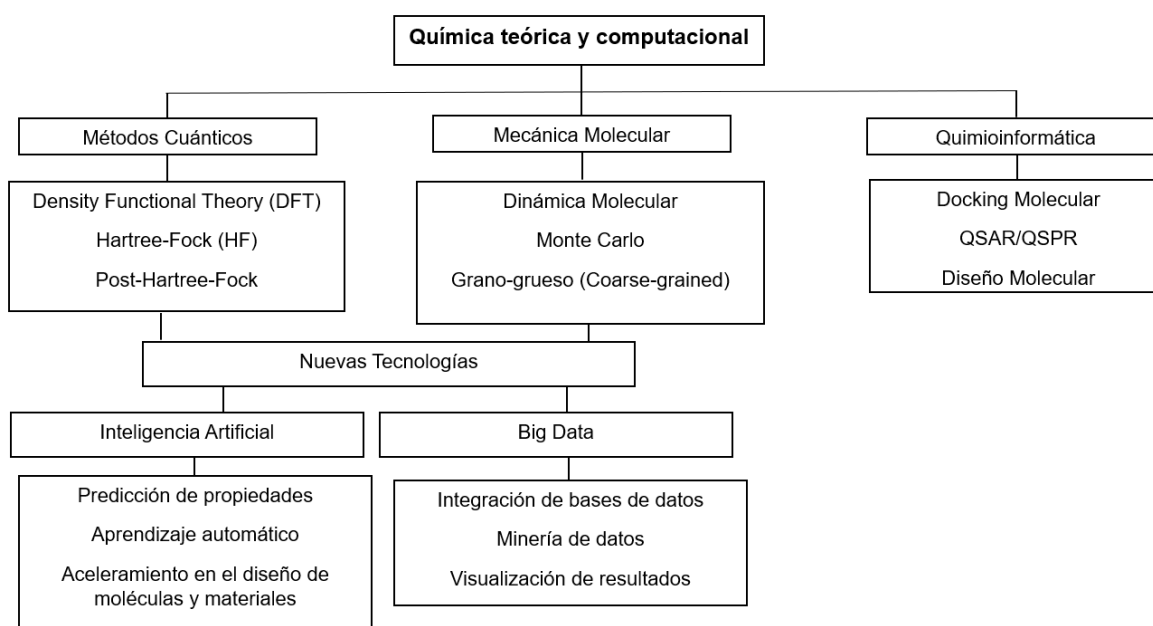
Principales dificultades		
Modelos teóricos	Explicaciones abstractas de conceptos químicos mediante teorías y leyes.	Dificultad para visualizar fenómenos microscópicos; comprensión limitada sin apoyo visual o práctico.
Experimentos presenciales	Prácticas de laboratorio realizadas de forma física por los estudiantes.	Requieren infraestructura, materiales y seguridad; inaccesibles en contextos con pocos recursos.
Representación simbólica	Uso de fórmulas, ecuaciones químicas y estructuras para describir compuestos y reacciones.	Puede ser abstracto y confuso para estudiantes sin experiencia práctica o visualización concreta.
Infraestructura y recursos	Equipos de laboratorio, reactivos, espacios adecuados y personal capacitado.	Su ausencia limita la aplicación práctica y el desarrollo de habilidades experimentales.

Fuente: Elaboración propia

[Capítulo 1] Enseñanza de la Química en la Era Digital: Simulación Molecular, Big Data e Inteligencia Artificial

En este contexto, las herramientas digitales emergen como soluciones efectivas, permitiendo visualizar interacciones a nivel atómico, modelar reacciones complejas y explorar propiedades moleculares sin necesidad de realizar experimentos físicos. En particular, la química teórica y computacional proporciona un marco fundamental para estas aplicaciones, permitiendo el uso de simulaciones moleculares (Figura 1) que acercan a los estudiantes a una comprensión más profunda de la naturaleza de la materia y de los procesos químicos. A través de métodos computacionales, es posible predecir comportamientos moleculares, evaluar la viabilidad de reacciones y analizar interacciones a nivel atómico, integrando conceptos teóricos con representaciones visuales y cuantitativas que fortalecen el aprendizaje. La simulación molecular, por ejemplo, ofrece a los estudiantes una comprensión más profunda de la naturaleza de la materia y de los procesos químicos fundamentales

Figura 1. Divisiones de la Química Computacional y su Integración con IA y Big Data.



Por otro lado, el análisis de grandes volúmenes de datos (Big Data) y el uso de algoritmos de inteligencia artificial están transformando la forma en que se procesan los resultados experimentales, se interpretan patrones y se realizan predicciones sobre el comportamiento químico de diferentes compuestos. Estas tecnologías, cada vez más accesibles, permiten una mayor eficiencia en la investigación y aportan nuevas herramientas pedagógicas que facilitan el aprendizaje adaptativo, el diseño de materiales didácticos personalizados y la evaluación automatizada de competencias. Existen diferentes programas que tienen diferentes implementaciones para la simulación molecular, se incluyen softwares que tienen costo y otros que son gratuitos, además de plataformas que incluyen simulaciones que pueden usarse para la enseñanza de la química (Tabla 2-4).

Tabla 2. *Programas de Química Computacional: Opciones Gratuitas.*

Programa	Enfoque principal	Notas
ORCA1	Métodos cuánticos (DFT, ab initio)	Gratuito para uso académico
Psi42	Métodos cuánticos (HF, MP2, CCSD, DFT)	Código abierto
NWChem3	Métodos cuánticos y mecánica molecular	Enfocado a alto rendimiento
CP2K4	DFT, dinámica molecular, materiales	Muy usado en materiales
GAMESS (US)5	Ab initio, DFT, semiempíricos	Gratuito, requiere registro
xTB6	Métodos semiempíricos (GFNn-xTB)	Ligero y rápido
Avogadro7	Visualización y edición de moléculas	Muy usado, multiplataforma
ASE (Atomic Simulation Environment)8	Automatización de cálculos	En Python, versátil
RDKit9	Quimioinformática, QSAR, manejo de estructuras	Para modelado y IA
PySCF10	Métodos cuánticos, programación en Python	Flexible y moderno
AutoDock11	Acoplamiento molecular (docking)	Muy usado en docking
GROMACS12	Mecánica molecular (biomoléculas)	Excelente rendimiento
LAMMPS13	Dinámica molecular y materiales	Enfocado en materiales

Enlaces disponibles en el presente drive:

https://drive.google.com/file/d/1UrwRqYDCTV_3SmWO4xZeAmyPUNPdWzPI/view?usp=sharing

Tabla 3. *Programas de Química Computacional: Opciones con Licencia Comercial.*

Programa	Enfoque principal	Notas
Gaussian¹⁴	Métodos cuánticos (DFT, MP2, etc.)	Muy utilizado, de pago
GaussView¹⁵	Visualización y generación de input para Gaussian	Interfaz gráfica
Chemcraft¹⁶	Visualización de cálculos cuánticos	Compatible con ORCA, Gaussian, GAMESS, NWChem y otros; versión gratuita limitada
Materials Studio¹⁷	Modelado molecular y de materiales	Muy completo, costoso

[Capítulo 1] Enseñanza de la Química en la Era Digital: Simulación Molecular, Big Data e Inteligencia Artificial

Schrödinger Suite ¹⁸	Docking, dinámica, diseño de fármacos	Alto nivel, muy costoso
MOE ¹⁹	Docking, QSAR, diseño de fármacos	Muy usado en la industria
ADF (AMS) ²⁰	Métodos cuánticos, materiales	Interfaces modernas
Spartan ²¹	Cálculos cuánticos y visualización	Intuitivo, enfocado en docencia
COMSOL Multiphysics ²²	Modelado de procesos químicos y físicos	Usado en ingeniería química
VASP ²³	DFT para materiales (cristales, superficies)	Potente, pero costoso
BIOVIA Discovery Studio ²⁴	Docking, dinámica molecular	Orientado a la industria
Molegro Virtual Docker ²⁵	Acoplamiento molecular (docking)	Herramienta comercial para predicción de interacciones proteína-ligando; ya no se desarrollan nuevas licencias.

Enlaces disponibles en el presente drive:

https://drive.google.com/file/d/1nTEEwimTEmYzHILtT_P9iw7DxcFY0D4/view?usp=sharing

Tabla 4. *Plataformas Educativas con Simulaciones para la Enseñanza de la Química.*

PhET Interactive Simulations ²⁶	Simulaciones interactivas desarrolladas por la Universidad de Colorado Boulder para explorar conceptos científicos.	Química general, física, biología, matemáticas.
ChemCollective ²⁷	Colección de recursos virtuales y simulaciones centradas en la química.	Equilibrio químico, estequiometría, soluciones.
Molecular Workbench ²⁸	Plataforma para crear y explorar simulaciones de química, biología y física.	Interacciones moleculares, dinámica molecular.
Labster ²⁹	Laboratorios virtuales con enfoque en ciencias naturales.	Reacciones químicas, microbiología, genética.
Odyssey ChemLab ³⁰	Simulaciones moleculares interactivas para química general y orgánica.	Química orgánica, soluciones, gases.
Virtual Chemistry Laboratory ³¹	Simulaciones y ejercicios interactivos para química general.	Reacciones químicas, soluciones, gases.

Enlaces disponibles en el presente drive:

https://drive.google.com/file/d/1JrEKayhENr2_MMrsPv7upKTuVTW-CzEY/view?usp=drive_link

Existen estudios como el de García-Ruiz et al. (2011) en donde se evaluó la usabilidad de un visualizador molecular en teléfonos inteligentes como herramienta educativa para estudiantes

de química. Utilizando el método Think Aloud y cuestionarios de satisfacción, los autores demostraron que el software permite una visualización eficaz y eficiente de modelos moleculares, con un alto nivel de aceptación, ya que el 95% de los estudiantes manifestó interés en su uso futuro. Los resultados sugieren que la integración de esta tecnología puede mejorar significativamente la comprensión de estructuras tridimensionales, complementando las metodologías tradicionales y facilitando el aprendizaje en cualquier lugar y momento, con bajo costo y fácil acceso.

Por otro lado, Martínez-Vázquez y Hernández-Pacheco, 2020 presentaron una propuesta innovadora que utiliza laboratorios virtuales mediante dispositivos móviles como estrategia para fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje en el ámbito educativo. Los autores destacan que la rápida evolución de los dispositivos móviles ha posibilitado la integración de las TICs en la educación, permitiendo simular experimentos de química en entornos virtuales accesibles desde teléfonos y *tablets*, tanto con Android como con iOS. Estas herramientas educativas facilitan un aprendizaje más motivador, autónomo y flexible, ya que ofrecen recursos adicionales, como bloc de notas y calculadoras científicas, y permiten grabar y revisar los procedimientos realizados. Además, se propuso el desarrollo de tutoriales en video para facilitar el manejo de aplicaciones como BRU Virtual Lab y Chemist by Thix, potenciando así la práctica educativa en contextos donde el acceso a laboratorios presenciales es limitado. Los avances tecnológicos han permitido a los estudiantes explorar las moléculas en espacios tridimensionales, lo que conduce a un mejor entendimiento de la naturaleza.

En una publicación de 2019, Mario Plagiario describió que la era digital ha dado un impulso significativo a la visualización en la enseñanza de la química, permitiendo a los estudiantes entender conceptos complejos a través de imágenes, modelos 3D y animaciones interactivas. La visualización en química no se limita a crear imágenes estéticas, sino que actúa como una herramienta esencial para facilitar la comprensión de mecanismos, estructuras moleculares y procesos químicos.

Por otro lado, tecnologías como la realidad aumentada (AR), realidad virtual (VR) y la inteligencia artificial (IA) están jugando un papel cada vez más importante en la educación química. La AR y la VR se emplean principalmente para crear laboratorios virtuales y facilitar la visualización de moléculas y estructuras químicas complejas, permitiendo a los estudiantes realizar experimentos de forma segura, práctica y repetible. Estas innovaciones tecnológicas aumentan la motivación y el compromiso, además de reducir la ansiedad asociada con la manipulación de instrumentos y sustancias químicas. Por su parte, la IA se enfoca en analizar el comportamiento y las dificultades de los estudiantes, evaluando su comprensión de conceptos avanzados como la interpretación espectroscópica, y ofreciendo retroalimentación personalizada para mejorar el proceso de aprendizaje (Chiu, 2021; Mazzuco et al., 2022; Almasri, 2024; Wang et al., 2024).

Es importante también describir como las herramientas modernas como los modelos de inteligencia artificial, como por ejemplo ChatGTP en sus diferentes versiones, asistentes virtuales educativos (Figura 2) y plataformas interactivas de aprendizaje, han introducido nuevas formas de enseñar y aprender química, proporcionando asistencia para resolver

[Capítulo 1] Enseñanza de la Química en la Era Digital: Simulación Molecular, Big Data e Inteligencia Artificial

problemas paso a paso, diseñar exámenes, generar retroalimentación inmediata, y fomentar la investigación científica al facilitar el acceso y análisis de información académica actualizada (Gómez-Zermeño, 2023; Kılınç, 2023; Cheng et al., 2024).

Figura 2. *Uso de un asistente virtual educativo para la enseñanza de la química en una escuela de Hubei, China. Fuente: Tomado de la red social Reddit.*



Este capítulo se centra en explorar el impacto de estas herramientas digitales en la enseñanza de la química en el nivel superior. A través de una revisión de literatura científica reciente y el análisis de estudios de caso en instituciones educativas mexicanas, se examinan experiencias concretas en el uso de simuladores moleculares, plataformas de análisis de datos y aplicaciones de inteligencia artificial en cursos de química, química analítica, sistemas biológicos y bioinformática. Se discuten también los retos asociados a la implementación de estas tecnologías, así como su potencial para enriquecer los planes de estudio y fomentar una educación científica más innovadora, inclusiva y centrada en el estudiante.

Pregunta de investigación

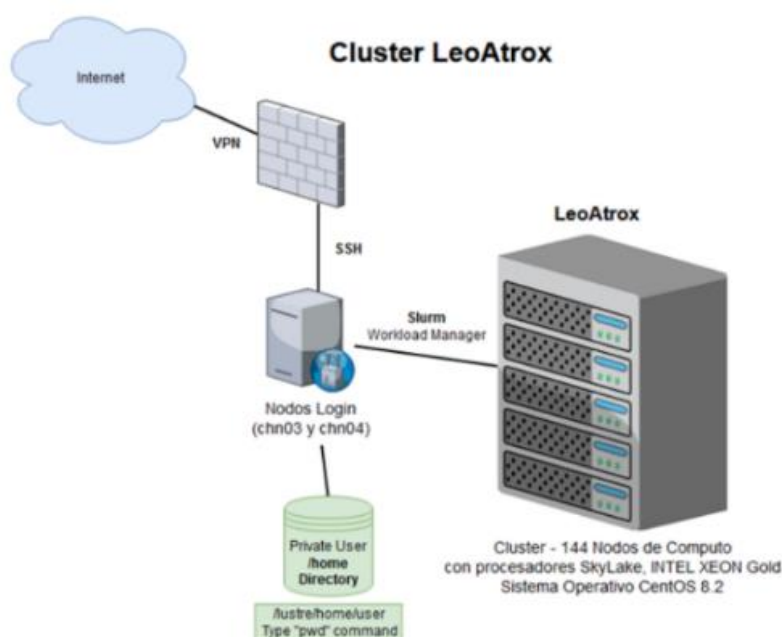
¿Cómo impacta la incorporación de herramientas digitales como la simulación molecular y la inteligencia artificial en la comprensión conceptual y el desarrollo de habilidades prácticas en estudiantes de química en educación superior?

Metodología

En el presente capítulo se abordaron diversas estrategias didácticas apoyadas en herramientas digitales para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de la química. La metodología se fundamentó en el enfoque de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) (Gómez, 2005; Tello et al., 2023; Pazos-Yeroi y Aguilar-Gordón, 2024), promoviendo un aprendizaje activo, contextualizado y centrado en el estudiante. En primer lugar, para la

asignatura de Química, impartida en la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, se capacitó a los estudiantes en el uso de software especializado para la construcción y visualización de moléculas: SPARTAN 08 (Wavefunction, 2008), y ChemCraft 16 (Chemcraft, 2016). Posteriormente, se instruyó en el uso del programa ORCA (Neese, 2022), aplicando el nivel de teoría PBE0/def2-SVP/DFT-D3 (Adamo y Barone, 1999; Weigend y Ahlrichs, 2005; Grimme et al., 2010) para realizar cálculos de estructura electrónica mediante teoría del funcional de la densidad (DFT), aprovechando el servicio de supercómputo LeoAtrox de la Universidad de Guadalajara (Figura 3). Esta formación permitió a los estudiantes modelar un segmento de ADN, un aminoácido y analizar las conformaciones del ciclohexano.

Figura 3. *Funcionamiento del Cluster LeoAtrox de la Universidad de Guadalajara*



En la asignatura de Química Analítica, también en la misma institución, se abordaron los temas de equilibrio químico y volumetría utilizando herramientas interactivas. A través de la plataforma PhET (Perkins et al., 2006), se simuló el comportamiento de soluciones ácido-base, permitiendo observar cómo cambian las propiedades de una disolución según su concentración y naturaleza química. Además, se realizaron prácticas virtuales de valoración ácido-base, utilizando soluciones problema (ácidos clorhídrico, nítrico, fosfórico, sulfúrico, oxálico y acético) y aplicando indicadores digitales como fenolftaleína, tornasol y verde de bromocresol.

En el caso de la materia Sistemas Biológicos, perteneciente a la carrera de Ingeniería en Sistemas Biológicos del Centro Universitario del Sur (CUSur) de la Universidad de

Guadalajara, se utilizó el software Molegro Virtual Docker (Bitencourt-Ferreira y De Azevedo, 2019) para realizar simulaciones de *docking* molecular. Esta herramienta permitió analizar la interacción entre proteínas blanco (enzimas o receptores) y ligandos relevantes, en contextos como la biocatálisis, la producción de bioetanol, el control biológico de plagas y la biorremediación de suelos y aguas. Cada equipo seleccionó una proteína blanca (descargada del *Protein Data Bank*) y un ligando (obtenido de PubChem o incluido en la estructura de la proteína), tomando como base una problemática biotecnológica o ambiental actual.

Durante el proceso, los estudiantes aprendieron a preparar las estructuras moleculares, parametrizar los modelos, definir las cavidades de unión y ejecutar simulaciones. Los resultados se analizaron con base en el MolDock Score, las diferentes poses generadas y las interacciones no covalentes (puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas, etc.) responsables de la afinidad molecular. Entre las aplicaciones modeladas destacan: la interacción entre la enzima lacasa y el contaminante bisfenol A; la afinidad de azúcares por el alcohol deshidrogenasa; el uso de metabolitos de *Bacillus thuringiensis* en control de plagas; y la degradación del diclofenaco mediante la peroxidasa de rábano.

Para conocer la percepción de los estudiantes sobre el uso de estas herramientas digitales en la enseñanza de la química, se aplicó un formulario estructurado en formato digital (*Google Forms*), compuesto por preguntas en escala de Likert (Likert, 1932) de cinco puntos, que midieron el nivel de acuerdo con afirmaciones sobre facilidad de uso, utilidad y motivación, así como preguntas abiertas destinadas a explorar con mayor profundidad sus experiencias, opiniones y sugerencias (Figura 4).

Los participantes fueron estudiantes inscritos en las asignaturas de química, química analítica y sistemas biológicos, pertenecientes al Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, y al Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara. Se estableció un tamaño de muestra estimado de al menos 40 estudiantes, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

Figura 4. *Diseño del formulario de percepción de los alumnos de la enseñanza de la química en la época moderna.*

Formulario: Percepciones sobre la Era Digital en la Enseñanza de la Química

A continuación, encontrarás una serie de afirmaciones relacionadas con el uso de herramientas digitales en la enseñanza de la química. Por favor, indica tu grado de acuerdo con cada afirmación utilizando la siguiente escala:

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Sección I: Escala de Likert

1. Las simulaciones moleculares facilitan la comprensión de conceptos químicos complejos.
2. Las herramientas de Big Data permiten analizar grandes volúmenes de datos químicos de forma más efectiva.
3. La inteligencia artificial puede ser utilizada como una herramienta educativa en química.
4. Considero que las simulaciones moleculares pueden reemplazar parcialmente los experimentos en laboratorio.
5. El uso de aplicaciones de modelado molecular me parece interesante para aprender sobre reacciones químicas.
6. La integración de tecnologías digitales en la enseñanza de química mejora mi comprensión del contenido.
7. Me siento motivado(a) utilizar herramientas digitales para estudiar temas avanzados de química.
8. Las bases de datos digitales me permiten acceder rápidamente a información relevante sobre compuestos químicos.
9. La digitalización de los contenidos académicos facilita el acceso al conocimiento en química.
10. Considero que los docentes deben incorporar más tecnologías digitales en las clases de química.

Sección II: Preguntas Abiertas

11. ¿Qué tipo de herramientas digitales has utilizado en clases de química? (Ejemplo: simuladores moleculares, bases de datos, aplicaciones interactivas)
12. ¿Cómo crees que el uso de simulaciones moleculares ha influido (o podría influir) en tu comprensión de los conceptos químicos?
13. ¿Qué barreras o dificultades has encontrado al utilizar tecnologías digitales en la enseñanza de química?
14. ¿Qué sugerencias darías para mejorar la integración de tecnologías digitales en las clases de química?
15. ¿Consideras que el uso de Big Data e inteligencia artificial podría cambiar la forma en que se enseña química? ¿Cómo?



Resultados

a) Visualización y cálculos computacionales en la materia de química

Los resultados obtenidos en la asignatura de Química, en el marco de la incorporación de tecnologías digitales al proceso educativo, evidencian que el uso de software de modelado molecular y cálculos computacionales favorece significativamente la comprensión de conceptos estructurales. La implementación de herramientas como SPARTAN 08, ChemCraft, Avogadro y ORCA permitió representar visualmente estructuras complejas y realizar simulaciones de energía conformacional mediante teoría del funcional de la densidad (DFT).

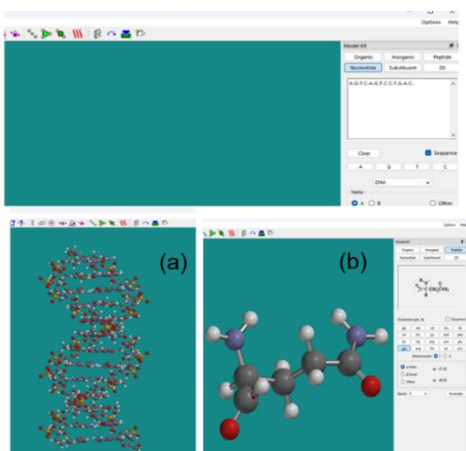
La Figura 5 representa el uso tradicional de modelos físicos en el aula, donde los estudiantes construyen moléculas de forma manual. Si bien estos modelos proporcionan un primer acercamiento al concepto de geometría molecular y permiten una experiencia táctil, su aplicabilidad es limitada: no permiten analizar interacciones electrónicas, ni explorar dinámicamente conformaciones, ni representan adecuadamente sistemas con mayor complejidad estructural.

Figura 5. *Estudiantes utilizando modelos tradicionales y físicos para construcción de moléculas.*



En contraste, en la Figura 6 se presenta la transición hacia herramientas digitales, mediante la visualización computacional de un segmento de ADN y un aminoácido con el programa SPARTAN 08. Estas representaciones tridimensionales permiten ajustar la escala, identificar regiones funcionales y preparar sistemas para análisis computacionales posteriores, lo que refuerza la comprensión teórica y promueve habilidades digitales en química estructural.

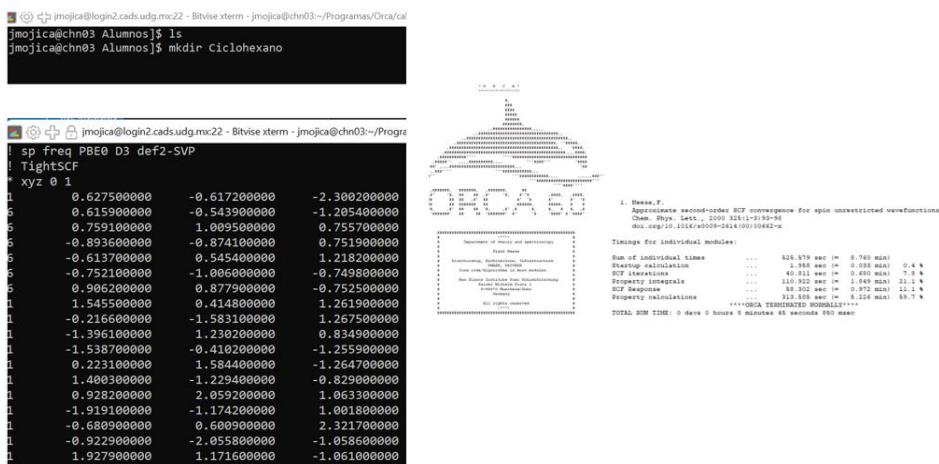
Figura 6. *Visualización de modelos moleculares utilizando el programa SPARTAN 08: (a) segmento de ADN, (b) aminoácido.*



En la Figura 7 documenta el uso de ORCA a través de una terminal de Linux, lo cual introdujo a los estudiantes al entorno de la química computacional. El análisis de las diferentes conformaciones del ciclohexano, utilizando el nivel de teoría PBE0/def2-SVP/DFT-D3,

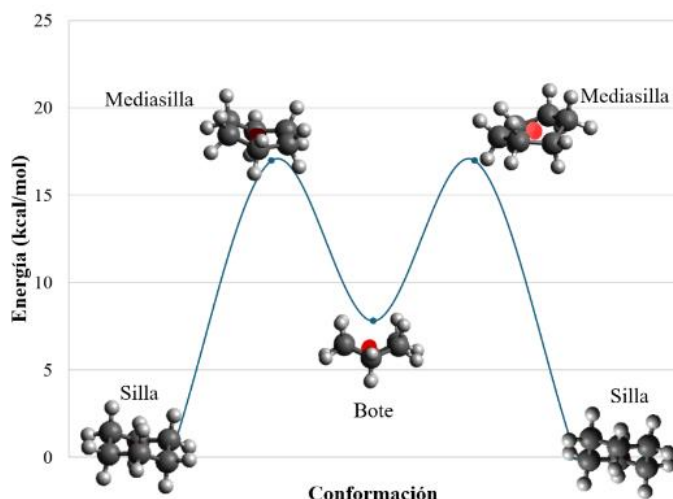
permitió obtener información precisa sobre la energía electrónica de cada estructura, un aspecto inaccesible desde enfoques experimentales tradicionales.

Figura 7. Uso de ORCA en la terminal de Linux para simular las conformaciones del ciclohexano.



Finalmente, la Figura 8 presenta el perfil energético resultante, mostrando las diferencias entre las conformaciones silla, bote y media silla del ciclohexano. Este resultado no solo permitió validar la estabilidad relativa esperada desde la teoría, sino que también brindó evidencia cuantitativa sobre la preferencia conformacional, fortaleciendo la interpretación crítica de datos moleculares.

Figura 8. Gráfica del perfil energético del ciclohexano según su conformación: silla, bote, media silla realizado por un equipo de estudiantes, en su clase de química.

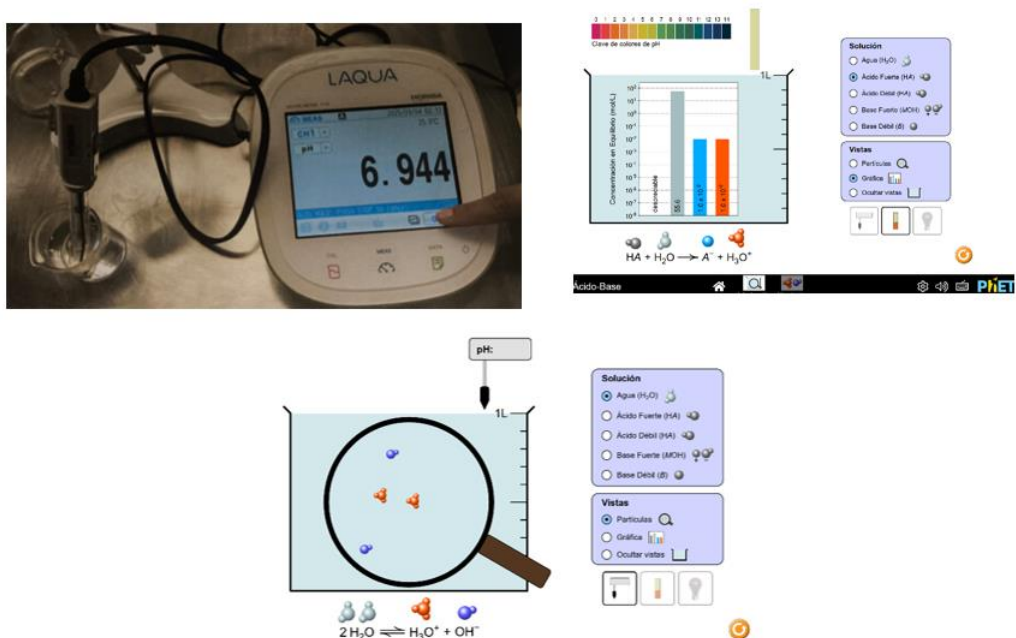


b) Herramientas para el estudio de ácidos y bases y de la titulación ácido-base en química analítica.

En el contexto de la Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, la comprensión de fenómenos ácido-base y de los procesos de valoración es esencial para el análisis y manejo de soluciones en prácticas agroindustriales, control de calidad de aguas, formulación de fertilizantes y manejo de suelos. El uso de herramientas digitales como simuladores interactivos representa una estrategia pedagógica efectiva para fortalecer estos aprendizajes, especialmente cuando las condiciones limitan el acceso a laboratorios equipados.

Durante las actividades realizadas, los estudiantes combinaron la medición experimental del pH con potenciómetro y el uso de simulaciones moleculares a través de plataformas digitales. Esta experiencia integradora permitió observar la relación entre la concentración iónica de una disolución y su carácter ácido o básico, reforzando conceptos como la disociación, el equilibrio iónico y el papel de los indicadores. Al representar gráficamente la interacción entre moléculas, las simulaciones facilitaron una comprensión más profunda de la acidez y la basicidad desde una perspectiva molecular (Figura 9).

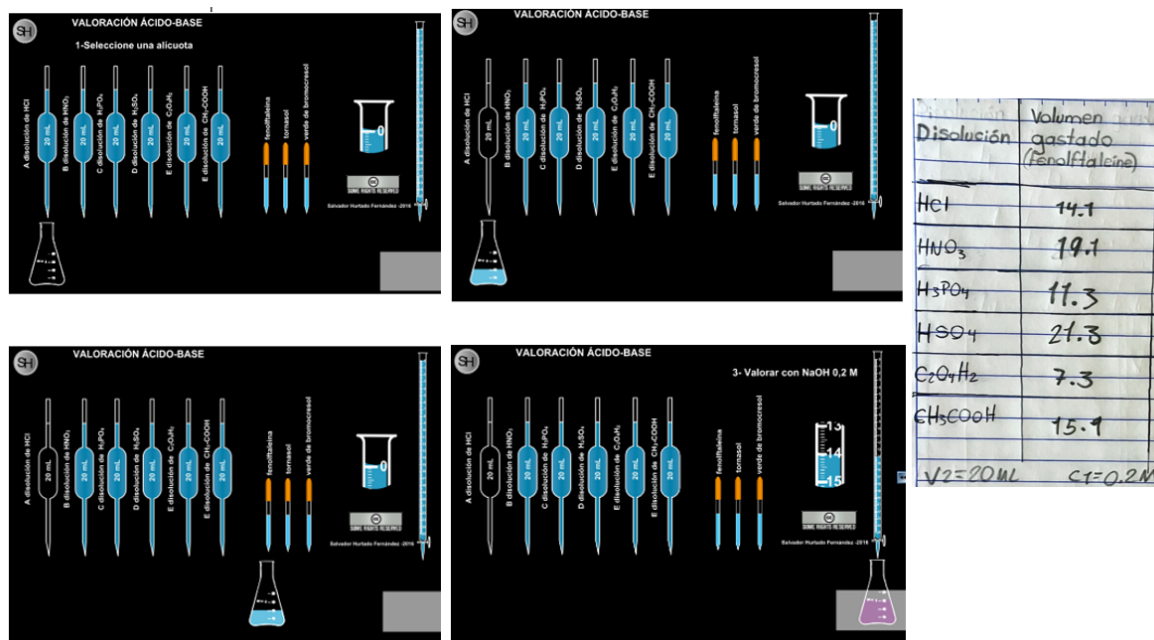
Figura 9. Medición del pH del agua utilizando potenciómetro y uso del simulador PhET para comprensión de la acidez y basicidad a nivel molecular.



Asimismo, la simulación de una valoración ácido-base, utilizando una disolución de ácido clorhídrico de concentración desconocida y una base fuerte (NaOH 0.2 M), permitió a los

estudiantes practicar los fundamentos de la titulación de forma segura y estructurada. El entorno virtual guió el procedimiento paso a paso, incluyendo la elección del indicador, la identificación del punto de equivalencia y el cálculo de la concentración (Figura 10).

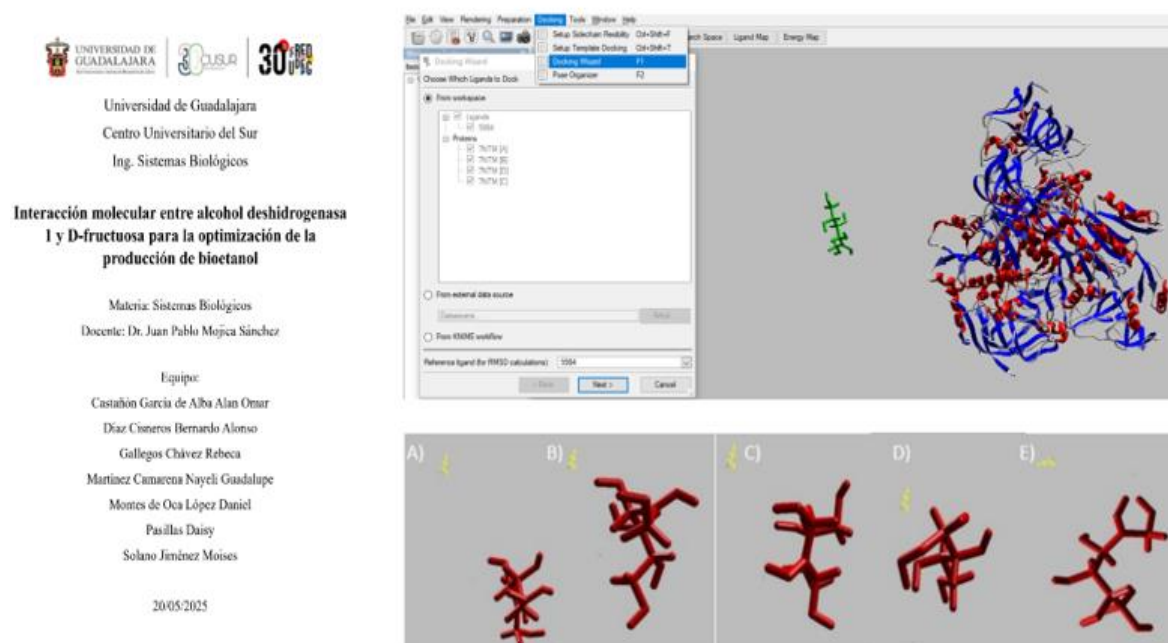
Figura 10. Simulación de una valoración ácido-base de una disolución de ácido clorhídrico (HCl) de concentración desconocida con NaOH 0.2 M y anotaciones de resultados en cuaderno de alumno.



c) Estudio de un sistema utilizando *Docking* molecular con *Molegro* para clase de Sistemas Biológicos

Los estudios de *Docking* molecular realizados por los estudiantes en el contexto del curso de Sistemas Biológicos ejemplifican de manera contundente el potencial pedagógico y científico de las herramientas digitales aplicadas a la enseñanza de la química. Cada equipo abordó un problema ambiental o biotecnológico con relevancia actual, seleccionando proteínas blanco y ligandos con implicaciones prácticas en la biorremediación, la biocatálisis o la producción sostenible de energía (Figura 11).

Figura 11. Proyecto estudiantil de simulación de la afinidad de azúcares por la enzima alcohol deshidrogenasa mediante docking molecular.



En el caso de la enzima glifosato oxidasa (GOX) y su interacción con el herbicida glifosato, se observaron valores energéticos altamente negativos (MolDock Score: -70.629), así como una red robusta de interacciones no covalentes en el sitio activo, lo que sugiere un acoplamiento favorable. Estos hallazgos apoyan su uso potencial en estrategias de remediación agrícola, mostrando cómo el análisis computacional puede guiar el diseño de soluciones ecológicas basadas en enzimas.

Por su parte, el estudio sobre la lacasa fúngica y el contaminante bisfenol A (BPA) evidenció afinidades energéticas incluso más marcadas (E-interacciones hasta -235 kcal/mol), con baja energía estérica y valores estables en las poses seleccionadas. Esto refuerza el rol emergente de las lacasas como biocatalizadores versátiles en ambientes acuáticos contaminados por disruptores endocrinos, y muestra cómo los estudiantes pueden evaluar la viabilidad de enzimas ambientales mediante simulación.

El análisis entre la peroxidasa de rábano (HRP) y el fármaco diclofenaco reveló también interacciones específicas, con formación de enlaces de hidrógeno clave (p. ej., con Arg38 y His170), y energía de interacción de hasta -121.806. A pesar de algunas interacciones estéricas desfavorables, el modelo predice una unión estable, destacando el potencial de esta enzima vegetal en el tratamiento de efluentes farmacéuticos.

En el ámbito energético, el trabajo sobre alcohol deshidrogenasa (ADH1) y D-fructosa mostró valores de MolDock Score de hasta -116.814, con alta formación de puentes

de hidrógeno y eficiencia del ligando (LE1: -8.49). A pesar de los altos valores de RMSD, indicativos de variabilidad estructural, los datos respaldan la afinidad funcional del sustrato, siendo una base útil para futuras estrategias de ingeniería enzimática orientadas a mejorar la conversión de biomasa en bioetanol.

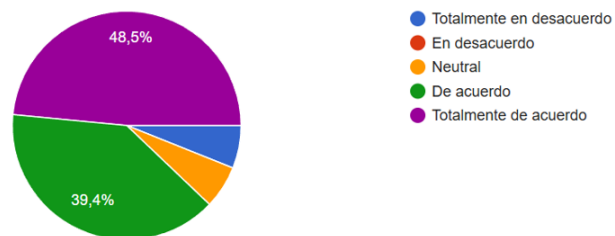
d) Percepción Estudiantil sobre el uso de herramientas digitales en la enseñanza de la Química

En cuanto a las barreras enfrentadas, mencionan dificultades relacionadas con la falta de familiarización tecnológica, problemas de acceso a los recursos digitales y una implementación limitada o poco efectiva dentro del aula. No obstante, también destacan que estas barreras pueden superarse mediante una integración más frecuente, explicaciones claras sobre el uso de las herramientas y una actitud más abierta tanto por parte de docentes como de estudiantes (Figuras 12 y 13)

Figura 12. Nivel de acuerdo de los estudiantes con respecto a la facilidad de uso de las herramientas digitales.

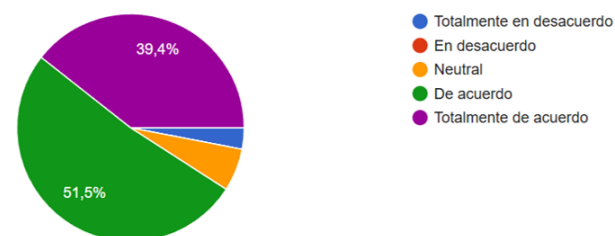
Las simulaciones moleculares facilitan la comprensión de conceptos químicos complejos.

33 respuestas



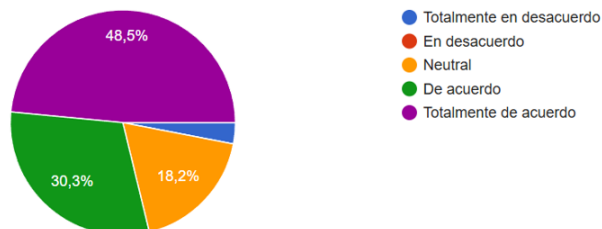
Las herramientas de Big Data permiten analizar grandes volúmenes de datos químicos de forma más efectiva.

33 respuestas



La inteligencia artificial puede ser utilizada como una herramienta educativa en química.

33 respuestas



Considero que las simulaciones moleculares pueden reemplazar parcialmente los experimentos en laboratorio.

33 respuestas

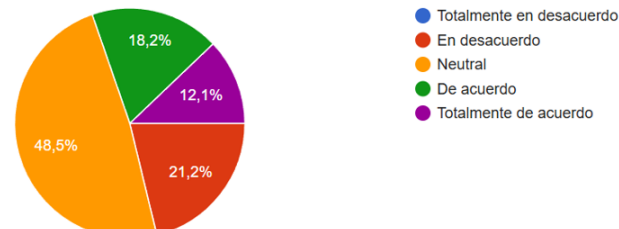
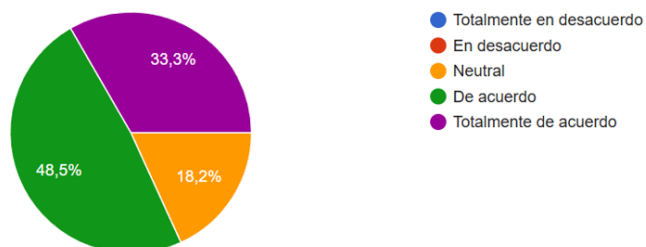


Figura 13. *Percepción estudiantil sobre la utilidad de las herramientas digitales en la enseñanza de la química.*

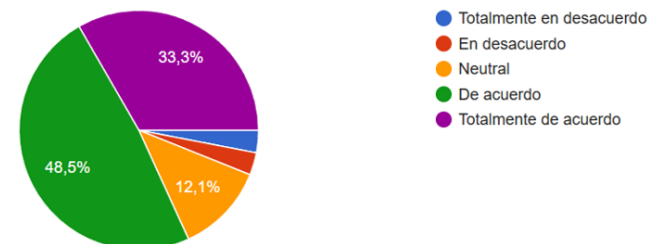
El uso de aplicaciones de modelado molecular me parece interesante para aprender sobre reacciones químicas.

33 respuestas



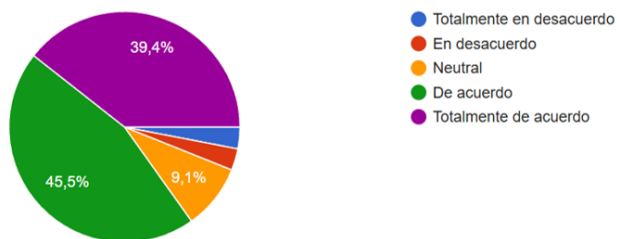
La integración de tecnologías digitales en la enseñanza de química mejora mi comprensión del contenido.

33 respuestas



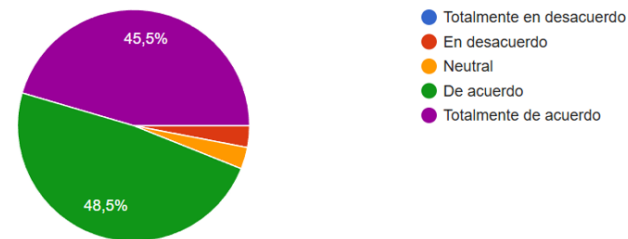
Me siento motivado/a a utilizar herramientas digitales para estudiar temas avanzados de química.

33 respuestas



Las bases de datos digitales me permiten acceder rápidamente a información relevante sobre compuestos químicos.

33 respuestas

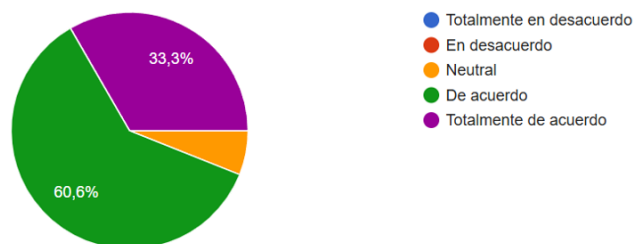


Asimismo, al abordar el papel de tecnologías emergentes como Big Data e inteligencia artificial, los alumnos expresan que estas podrían cambiar de forma significativa la manera en que se enseña la química, permitiendo un aprendizaje más dinámico, interactivo y adaptado a las necesidades individuales. En conjunto, las respuestas reflejan una postura receptiva hacia la transformación digital en la educación, subrayando la importancia de acompañar esta transición con estrategias pedagógicas bien fundamentadas, capacitación continua y condiciones tecnológicas adecuadas (Figura 14). En general, se evidenció una actitud receptiva y propositiva por parte del alumnado hacia la digitalización de la enseñanza de la química. Se destaca, además, su disposición a seguir utilizando estas herramientas a lo largo de su carrera académica, reconociendo en ellas una vía efectiva para adquirir habilidades tecnológicas, comprender mejor la materia y relacionarla con los desafíos de la ciencia aplicada. Este entusiasmo estudiantil representa una oportunidad valiosa para impulsar cambios curriculares que fortalezcan la educación científica desde un enfoque más moderno, interactivo y contextualizado.

Figura 14. Disposición del alumnado para seguir utilizando herramientas digitales en su formación profesional.

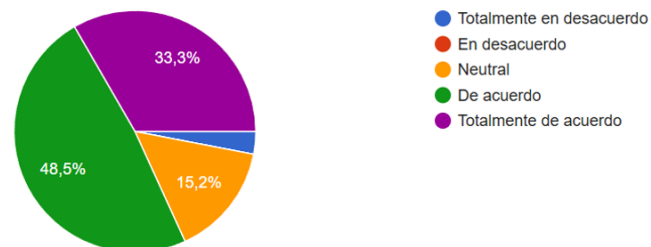
La digitalización de los contenidos académicos facilita el acceso al conocimiento en química.

33 respuestas



Considero que los docentes deben incorporar más tecnologías digitales en las clases de química.

33 respuestas



Discusión

A lo largo del proceso de preparación y visualización de estructuras mediante el uso de la computadora, los estudiantes desarrollaron habilidades en el manejo de software científico, así como en la interpretación de dichos resultados. No obstante, también enfrentaron dificultades técnicas. El uso de programas como ORCA, que requiere conocimiento de comandos en entornos Linux, y la necesidad de interpretar datos como energías absolutas, orbitales moleculares o archivos de salida, representan una curva de aprendizaje considerable. Esto puede generar frustración si no se acompaña con explicaciones claras y estrategias didácticas progresivas.

Asimismo, se identificaron limitaciones logísticas, como la necesidad de equipos de cómputo con capacidad adecuada, acceso a servicios de supercómputo como LeoAtrox, y tiempo suficiente para entrenar a los estudiantes en las herramientas utilizadas. La carga cognitiva adicional que implica esta modalidad requiere una planeación cuidadosa para no interferir con los objetivos curriculares. A pesar de estas complicaciones, la percepción global del estudiantado respecto al uso de simulaciones moleculares fue positiva. La mayoría reconoció una mejora en su comprensión conceptual, un aumento en la motivación por la asignatura y una mayor conexión con aplicaciones reales de la química. Los resultados obtenidos en el inciso a) sugieren que, con un diseño didáctico estructurado, acompañamiento docente constante y recursos de apoyo adecuados, las herramientas digitales pueden integrarse exitosamente como recursos didácticos de alto impacto en la enseñanza de la química molecular.

Con respecto a la experiencia del uso de herramientas computacionales para el análisis químico de suelos o soluciones nutritivas mencionado en el inciso b), esta resultó valiosa tanto para afianzar conocimientos teóricos como para adquirir competencias técnicas relevantes para la ingeniería agrícola.

Desde el punto de vista educativo, los resultados del inciso c) evidencian cómo la integración del modelado molecular en el aula permite a los estudiantes:

- Aplicar conocimientos teóricos de química estructural, enzimología y toxicología.
- Desarrollar habilidades digitales relevantes para la investigación científica contemporánea.
- Generar evidencia cuantitativa y visual para sustentar argumentos técnicos y propuestas de solución a problemas reales.

Este enfoque basado en problemas, sustentado por tecnologías como Molegro Virtual Docker y bases de datos moleculares abiertas (PDB, PubChem), no solo favorece el aprendizaje significativo, sino que también estimula el pensamiento crítico y la formulación de hipótesis.

La percepción estudiantil respecto al uso de herramientas digitales en la enseñanza de la Química, resultados mostrados en el inciso d), fue mayoritariamente positiva. A través

del formulario aplicado, los alumnos manifestaron que el uso de simuladores moleculares, software de modelado y plataformas interactivas les permitió comprender mejor los conceptos complejos de la química, especialmente aquellos relacionados con estructuras tridimensionales, equilibrio químico y mecanismos de interacción molecular. Los estudiantes destacaron que estas herramientas hicieron más dinámicas y significativas las clases, incrementaron su motivación por la asignatura y les ayudaron a relacionar los contenidos teóricos con aplicaciones reales.

Asimismo, muchos señalaron que el aprendizaje fue más autónomo, visual e interactivo, y que se sintieron más comprometidos al poder experimentar de manera virtual con sistemas químicos que no siempre es posible abordar en el laboratorio físico. Entre los beneficios más mencionados estuvieron la facilidad de uso, el acceso a visualizaciones detalladas y la posibilidad de repetir procesos hasta comprenderlos completamente. Sin embargo, también se identificaron áreas de oportunidad, como la necesidad de una capacitación más extensa al inicio del curso y el deseo de contar con más tiempo y recursos tecnológicos para profundizar en las prácticas digitales.

En conjunto, estas opiniones reflejan una disposición favorable hacia la integración de tecnologías emergentes en el aula, así como el reconocimiento de su valor pedagógico para fortalecer el aprendizaje y desarrollar habilidades científicas y digitales pertinentes para su formación profesional.

Conclusiones

La incorporación de herramientas digitales como Avogadro, ORCA, SPARTAN y Molegro Virtual Docker, así como plataformas digitales, permitió a los estudiantes construir modelos moleculares, simular interacciones químicas y biológicas y proponer soluciones fundamentadas a problemáticas reales. Estas actividades promovieron un aprendizaje activo, donde los conceptos no solo se comprendieron en el plano teórico, sino que también se aplicaron de manera práctica y contextualizada, fortaleciendo competencias digitales y científicas.

Los resultados obtenidos evidencian que la integración de tecnologías digitales favorece significativamente la comprensión conceptual, incrementa la motivación y fortalece la autonomía del estudiantado, incluso en contextos educativos con recursos limitados. Si bien se identificaron desafíos de carácter técnico y pedagógico, estos fueron atendidos de manera efectiva mediante el acompañamiento docente, procesos de capacitación gradual y el diseño de actividades didácticas significativas y contextualizadas.

A futuro, se vislumbra un panorama educativo donde la simulación molecular, la inteligencia artificial y el análisis de Big Data serán elementos integrados de manera estructural en los planes de estudio de química. Es necesario continuar desarrollando modelos pedagógicos innovadores, formar a los docentes en competencias digitales, y garantizar el acceso equitativo a las tecnologías. Además, se recomienda explorar nuevas líneas de

investigación en educación química digital, como el uso de realidad aumentada, tutores inteligentes o plataformas adaptativas, que personalicen el aprendizaje según las necesidades del estudiante.

Con una visión de largo plazo, estas herramientas no solo modernizan la enseñanza, sino que también preparan a los futuros profesionistas para enfrentar desafíos científicos y tecnológicos del siglo XXI.

Referencias

- Adamo, C., & Barone, V. (1999). Toward reliable density functional methods without adjustable parameters: The PBE0 model. *The Journal of Chemical Physics*, 110(13), 6158–6170. <https://doi.org/10.1063/1.478522>
- Ali, S. B., Talib, C. A., & Jamal, A. M. (2023). Digital technology approach in chemistry education: A systematic literature review. *Journal of Natural Science and Integration*, 6(1), 1-13.
- Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education*, 54(5), 977-997.
- Arenas, R. D. M., Cerna, A. N. F., Ramos, M. R. M., Serón, G. I. E., Loli, M. B. L. C., & Leon, G. H. C. (2023). La educación virtual como ciencia: Tendencias en herramientas informáticas.
- Bitencourt-Ferreira, G., & de Azevedo, W. F. Jr. (2019). Molegro Virtual Docker for docking. En W. F. de Azevedo Jr. (Ed.), *Methods in Molecular Biology* (Vol. 2053, pp. 149–167). Springer.
- Chiu, W. K. (2021). Pedagogy of emerging technologies in chemical education during the era of digitalization and artificial intelligence: A systematic review. *Education sciences*, 11(11), 709.
- Chavez Gómez, Y. A., & Cuaran Ceballos, A. D. (2024). *Implementación del simulador PhET para la enseñanza de balanceo de ecuaciones químicas en estudiantes de grado décimo comparado con el modelo tradicional en la IEM La Rosa de Pasto* (Doctoral dissertation, San Juan de Pasto-Nariño [Colombia]: Universidad CESMAG).
- ChemCraft. (2016). *ChemCraft 1.6* [Computer software]. <https://www.chemcraftprog.com>
- Cheng, Y.-P., Pedaste, M., Bardone, E., & Huang, Y.-M. (Eds.). (2024). *Innovative technologies and learning: 7th International Conference, ICITL 2024, Tartu, Estonia, August 14–16, 2024, proceedings, part I* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 14785). Springer Nature Switzerland AG.
- Gómez-Zermeño, M. G. (2023). *Inteligencia Artificial: Conceptos clave y experiencias en prácticas educativas*. Portal de Investigación.
- Gómez, B. R. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): Una innovación didáctica para la enseñanza universitaria. *Educación y educadores*, (8), 9-20.
- Grimme, S., Antony, J., Ehrlich, S., & Krieg, H. (2010). A consistent and accurate ab initio parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H–Pu. *The Journal of Chemical Physics*, 132(15), 154104.

[Capítulo 1] Enseñanza de la Química en la Era Digital: Simulación Molecular, Big Data e Inteligencia Artificial

- Kılınç, S. (2023). *Embracing the future of distance science education: Opportunities and challenges of ChatGPT integration*. *Asian Journal of Distance Education*, 18(1), 205–237. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7857396>.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 1–55.
- Mazzuco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E., & Gomes, R. S. (2022). A systematic review of augmented reality in chemistry education. *Review of Education*, 10(1), e3325.
- Neese, F. (2022). Software update: The ORCA program system, version 5.0. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science*, 12(1), e1606.
- Tello, A. E. C., Ramírez, H. C. G., Sosa, P. C. H., Sánchez, M. Á. F., & Paucar, E. C. (2023). El uso del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en la educación superior. *Educa UMCH*, (21), 29-44.
- Pazos-Yerovi, E. I., & Aguilar-Gordón, F. D. R. (2024). El Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia metodológica para el desarrollo del Pensamiento Crítico. *Revista de estudios y experiencias en educación*, 23(53), 313-340.
- Perkins, K. K., Adams, W. K., Dubson, M., Finkelstein, N. D., Reid, S., Wieman, C. E., & LeMaster, R. (2006). *PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics*. University of Colorado Boulder.
- Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 252, 124167.
- Wavefunction, Inc. (2008). *Spartan '08* [Computer software]. Wavefunction, Inc.
- Weigend, F., & Ahlrichs, R. (2005). Balanced basis sets of split valence, triple zeta valence and quadruple zeta valence quality for H to Rn: Design and assessment of accuracy. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 7(18), 3297–3305.

Cita APA 7ma edición: Cuervo-Del-Ángel, E., Merinos Herrera, S. I., Santiago Antonio, R., & Merinos Herrera, E. O. (2025). Gestión del cambio en la era de la IA: Desafíos y oportunidades para la administración del talento humano. En J. A. Enríquez Hernández, J. B. Hernández Hernández, & L. E. Ponce Martínez (Coords.), *IA y educación superior: Alianza o amenaza* (pp. 46-58). Editorial Sinergy.

Capítulo 2

Gestión del cambio en la era de la IA: desafíos y oportunidades para la administración del talento humano

Change management in the AI era: challenges and opportunities for human talent administration

Esmeralda Cuervo-Del-Ángel

 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
0009-0006-2303-1338 | esmeralda.cuervo@itsta.edu.mx

Sergio Iván Merinos Herrera

 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
0000-0003-3453-8899 | sergio.merinos@itsta.edu.mx

Rosalía Santiago Antonio

 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
0009-0006-5328-4109 | rosalia.santiago@itsta.edu.mx

Erick Orlando Merinos Herrera

 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
0009-0009-9777-3985 | erick.mh@cdmadero.tecnm.mx

Resumen

La creciente incorporación de tecnologías de inteligencia artificial en los entornos laborales plantea retos y oportunidades significativos para la administración del capital humano. Este capítulo analiza críticamente estos aspectos. A través de una revisión documental cualitativa, se examina investigación reciente para comprender el impacto de la inteligencia artificial en los procesos empresariales. El análisis se estructura en tres ejes principales: los desafíos de la integración tecnológica, la actualización constante de competencias y la consolidación de una cultura organizacional digital. Posteriormente, se destacan oportunidades en la planeación y desarrollo del talento, enfatizando El uso de IA posibilita la mejora de los procesos de selección, la retención, impulsar el aprendizaje permanente y fortalecer habilidades digitales. Por último, se proponen estrategias para una implementación responsable, incluyendo marcos regulatorios apropiados y evaluación continua del impacto. Como conclusión, se articula un marco de referencia que permite a las organizaciones Integrar la IA en la administración del talento, considerando sus implicaciones éticas y sociales.

Palabras clave: Inteligencia Artificial; Gestión del Talento Humano; Transformación Digital; Adaptación Organizacional; Ética en la IA.

Abstract

The increasing incorporation of artificial intelligence technologies into the workplace poses significant challenges and opportunities for human capital management. This chapter critically analyzes these aspects. Through a qualitative documentary review, recent research is examined to understand the transformative role of AI in business processes. The analysis is structured around three main axes: the challenges of technological integration, the continuous updating of skills, and the consolidation of a digital organizational culture. Subsequently, opportunities in talent planning and development are highlighted, emphasizing how AI can optimize selection processes, improve retention, drive lifelong learning, and strengthen digital skills. Finally, strategies for responsible implementation are proposed, including appropriate regulatory frameworks and continuous impact assessment. In conclusion, a framework is articulated that allows organizations to harness the potential of AI in talent management, considering its ethical and social implications.

Keywords: Artificial Intelligence; Human Talent Management; Digital Transformation; Organizational Adaptation; Ethics in AI.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) constituye una fuerza transformadora a nivel global que redefine las dinámicas operativas de las organizaciones y replantea los métodos para administrar el talento humano como recurso estratégico (Cárdenas et al., 2024). En un contexto caracterizado por la automatización, el aprendizaje automático y sistemas cognitivos, los procesos de trabajo experimentan una reconfiguración significativa.

La IA impacta sectores clave mediante la sistematización de procesos y el apoyo en la toma de decisiones. Gong et al. (2024) destacan que la IA en recursos humanos contribuye a decisiones más fundamentadas, aunque su implementación enfrenta retos de adaptación organizacional y aspectos éticos que requieren abordaje estratégico para asegurar efectividad y legitimidad institucional.

Esto plantea una pregunta crucial para las empresas: ¿cómo preparar a sus equipos para interactuar con tecnologías que superan las capacidades humanas en velocidad, precisión y eficiencia? Este capítulo busca responder a esta interrogante mediante un análisis crítico de los retos organizacionales vinculados a la integración de la IA, ofreciendo un marco de reflexión para directivos y gestores de talento humano.

La incidencia de la IA dentro del campo del trabajo ha motivado una amplia atención académica y profesional. Según estimaciones recientes, hacia 2025 estas tecnologías podrían desplazar aproximadamente 85 millones de empleos, pero generarían alrededor de 97 millones de nuevas posiciones en áreas como análisis de datos y gestión de sistemas inteligentes (Marengo, 2023).

Este panorama se enmarca en la cuarta revolución industrial, donde la digitalización exige no solo modernización tecnológica, sino también la revisión de competencias necesarias para la competitividad organizacional (Fernández & de Lama, 2018).

La incorporación de IA en las empresas presenta desafíos importantes para la gestión del personal, marcada por la resistencia organizacional y la insuficiencia de habilidades digitales. Fenwick (2024) señala que, aunque la inteligencia artificial fortalece la eficiencia en el ámbito de recursos humanos, pero su incorporación exitosa depende crucialmente de la preparación y adaptación de la fuerza laboral. El autor argumenta que la integración efectiva requiere colaboración entre humanos y máquinas, donde los profesionales de recursos humanos facilitan esta transición y garantizan una implementación ética y centrada en las personas. Entre los retos más apremiantes destaca la brecha de habilidades, una desconexión crítica entre las competencias actuales de la fuerza laboral y las exigidas por un mercado laboral intensamente reconfigurado por la inteligencia artificial. Según Herrera et al. (2023), aproximadamente el 65% de los empleados en sectores como la manufactura, los servicios financieros y la educación carecen de las competencias necesarias para interactuar con sistemas inteligentes.

Esta carencia impacta directamente en la productividad y, como subraya Cadillo (2023), genera incertidumbre y resistencia al cambio. A ello se suma la percepción de

[Capítulo 2] Gestión del cambio en la era de la IA: desafíos y oportunidades para la administración del talento humano

amenaza que experimentan muchos trabajadores, quienes temen ser reemplazados por máquinas, un temor que, como indica Gil (2024), refleja no sólo una preocupación subjetiva, sino una realidad que las empresas deben atender con estrategias de adaptación y reconversión laboral.

Paralelamente a los desafíos técnicos, la integración de la IA sitúa al debate ético en el centro de la discusión. Aunque los sistemas algorítmicos aportan eficiencia, su diseño deficiente puede reproducir sesgos y generar exclusiones. López (2024) advierte que herramientas de reclutamiento basadas en algoritmos pueden discriminar inadvertidamente a ciertos grupos, lo que plantea interrogantes sobre la justicia y la legitimidad en los procesos laborales. Esta situación se ve agravada por el llamado “efecto de caja negra”, es decir, la opacidad con la que operan muchos algoritmos, lo que dificulta comprender cómo se toman decisiones críticas y erosiona la confianza de empleados y directivos (Ruiz, 2022). La necesidad de marcos regulatorios claros y de prácticas organizacionales transparentes es, en consecuencia, ineludible.

Contreras (2025) destaca que la implementación y el uso responsable de la IA posibilita optimizar beneficios, asegurar aceptación y fomentar un crecimiento justo e innovador. Esto es esencial para asegurar que la tecnología complemente y enriquezca el trabajo humano, en lugar de reemplazarlo, creando un entorno laboral más colaborativo y adaptado a las necesidades actuales.

La dimensión cultural emerge como otro frente de desafío, inseparable del aspecto ético. La incorporación de IA no se limita a la adquisición de tecnología, sino que implica una transformación profunda de la cultura organizacional. El liderazgo en este proceso debe fomentar innovación, aprendizaje continuo y colaboración entre humanos y máquinas. No obstante, como advierte Valderrama (2019), la falta de comunicación efectiva y de participación del personal suele obstaculizar los procesos de cambio, derivando en resistencia y, en algunos casos, en el fracaso de las iniciativas de transformación digital.

Las implicaciones sociales de esta transición tecnológica revisten una gravedad considerable. La Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2023) señala que, aunque la IA puede generar nuevas oportunidades de empleo, también existe el riesgo de incrementar desigualdades si no se aplican políticas adecuadas de protección a los sectores más vulnerables (Vergés, 2022). En este sentido, las organizaciones tienen la responsabilidad de equilibrar la adopción tecnológica con la garantía de empleos dignos y trayectorias profesionales sostenibles (Oeij et al., 2019).

Frente a las narrativas del desplazamiento laboral, la investigación reciente apunta a un paradigma de complementariedad, donde la IA actúa como potenciador de las capacidades humanas más que como un sustituto. Pandolfi y Villagra (2025) proponen un abordaje estratégico que incluya programas de formación continua, liderazgo comprometido, metodologías ágiles y culturas organizacionales que promuevan la innovación y el aprendizaje permanente.

No obstante, alcanzar esta sinergia exige redefinir roles, rediseñar procesos e invertir en capacitación y desarrollo profesional (Herrera et al., 2023). Una transición justa hacia el futuro del trabajo sólo será posible si las organizaciones combinan innovación tecnológica con estrategias sólidas de formación y gestión del talento.

En este capítulo se examinan estos retos desde una perspectiva multidimensional, integrando evidencia empírica, estudios de caso y marcos teóricos relevantes. El propósito es ofrecer una visión crítica y al mismo tiempo propositiva, que contribuya a la reflexión académica y proporcione herramientas prácticas para líderes y responsables de talento humano. El objetivo final es que la inteligencia artificial deje de ser percibida como una amenaza y se convierta en una aliada estratégica en la construcción de organizaciones más adaptables, innovadoras y socialmente responsables.

Metodología

Este estudio emplea un diseño metodológico descriptivo para analizar los desafíos organizacionales en la administración del talento humano en el marco de la transformación laboral impulsada por la IA. La primera fase consiste en una revisión sistemática de literatura utilizando bases de datos académicas indexadas como Scopus, Web of Science y Google Académico.

La búsqueda abarca publicaciones entre 2019 y 2024, con el objetivo de construir un marco teórico actualizado que refleje las tendencias recientes en el área. Los hallazgos se organizan en categorías temáticas como brecha de habilidades, dilemas éticos de la IA y retos de gestión del cambio cultural, permitiendo analizar críticamente los desafíos actuales y futuros en la administración del capital humano.

La segunda fase adopta un enfoque descriptivo-analítico mediante el examen de casos de estudio de organizaciones que han implementado proyectos de IA. El análisis identifica buenas prácticas, obstáculos recurrentes y aprendizajes relevantes, ofreciendo una visión detallada de las dinámicas organizacionales en la incorporación de estas tecnologías. Para el análisis de casos se emplean técnicas cualitativas de análisis de contenido y codificación temática. Estas herramientas permiten explorar narrativas, percepciones y patrones significativos en las experiencias de implementación.

La validez de los resultados se refuerza mediante la combinación de múltiples fuentes de información y la revisión por pares, aportando solidez metodológica y credibilidad. La consistencia de los resultados se garantizará mediante triangulación de fuentes y revisión por pares, lo que aporta solidez metodológica y credibilidad a las conclusiones.

Los hallazgos de ambas fases se sintetizan en este capítulo, que busca presentar una discusión crítica de resultados y formular recomendaciones para la reflexión académica y práctica profesional. Esta estrategia metodológica descriptiva y analítica asegura un proceso riguroso y pertinente, alineado con estándares científicos y objetivos editoriales. Este enfoque busca generar un aporte original que trascienda la descripción de fenómenos y brinde

[Capítulo 2] Gestión del cambio en la era de la IA: desafíos y oportunidades para la administración del talento humano

estrategias operativas útiles para la gestión efectiva del capital humano en entornos digitalizados.

Resultados

La revisión de estudios especializados indica que la integración de la IA en la administración del talento humano implica una realidad compleja donde coexisten retos significativos y oportunidades de valor estratégico (Gong et al., 2024; Khan, 2024). Esta dualidad requiere una comprensión profunda de las dinámicas organizacionales en la era digital.

Entre los desafíos principales destaca la necesidad de cultivar un liderazgo adaptativo. Este liderazgo es crucial para guiar organizaciones en entornos de innovación tecnológica constante y para impulsar transformaciones culturales que faciliten nuevas dinámicas laborales (Valderrama, 2019; Pandolfi & Villagra, 2025).

Los estudios indican que la resistencia al cambio es una barrera significativa, cuya superación depende de la capacidad directiva para comunicar una visión clara y fomentar cultura de aprendizaje continuo (Fenwick, 2024). Se suma la urgencia de consolidar infraestructura tecnológica robusta que garantice operatividad y sostenibilidad de soluciones basadas en IA, requisito técnico esencial para evitar el fracaso de iniciativas de transformación digital (Fernández & de Lama, 2018).

Por otra parte, las oportunidades emergentes son igualmente significativas. La integración de IA favorece una planeación estratégica del capital humano más precisa, permitiendo decisiones sobre atracción, desarrollo y retención de personal basadas en datos objetivos y confiables (Saxena et al., 2024; Mir, 2024). Específicamente, los avances tecnológicos impactan notablemente los procedimientos de atracción y selección de personal. La evidencia de Ore y Sposato (2021) y López (2024) demuestra que la automatización reduce sesgos inconscientes, incrementa eficiencia operativa y acorta tiempos de respuesta, optimizando la adquisición de talento.

Como muestra la Tabla 1, estas aplicaciones optimizan procedimientos y fortalecen la alineación entre objetivos organizacionales y gestión del talento, potenciando competitividad empresarial.

Tabla 1. Retos y perspectivas de la IA en la administración del talento humano.

CATEGORÍA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Desafíos de la IA en GTH	Liderazgo adaptativo	Necesidad de líderes que fomenten la capacidad de ajustarse a las transformaciones tecnológicas y fomentar un entorno orientado a la innovación y el aprendizaje continuo.
	Infraestructura tecnológica	Requerimiento de equipos, software y bases de datos avanzados para implementar soluciones de IA en la organización.

Oportunidades de la IA	Transformación digital	Proceso de cambio en la estructura, cultura y liderazgo de la organización para integrar tecnologías digitales y de IA en los procesos empresariales.
	Planeación estratégica	Uso de IA para alinear la estrategia de talento humano con los objetivos empresariales, facilitando la toma de decisiones basada en datos.
	Reclutamiento y selección	Implementación de herramientas de IA para reducir sesgos en la selección de candidatos y agilizar el proceso de contratación.
	Desarrollo de competencias	Diseño de programas de capacitación personalizados mediante IA, identificando las necesidades de aprendizaje de cada colaborador.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados.

La inteligencia artificial está redefiniendo los cimientos de la gestión empresarial a través de la automatización de tareas rutinarias. Este fenómeno tiene un corolario directo, ampliamente documentado: un incremento significativo en la productividad, el rendimiento de los procesos y una optimización sustancial de costos (Cárdenas et al., 2024; Oeij et al., 2019). Sin embargo, esta transformación conlleva una exigencia paralela para la fuerza laboral. En el contexto de la gestión del talento humano, surge la necesidad imperante de desarrollar competencias emergentes orientadas al análisis de datos, la capacidad para abordar problemas complejos y ejercer pensamiento crítico, habilidades indispensables para desenvolverse en un entorno laboral progresivamente mediado por la tecnología (Herrera et al., 2023).

Frente a este escenario, la educación continua y los programas de actualización en competencias digitales se convierten en instrumentos estratégicos para preparar a los trabajadores, tal como se sintetiza en la Tabla 2. Estos hallazgos coinciden en que la formación tecnológica ya no es un recurso complementario, sino un eje central en la construcción de capacidades adaptativas para la era digital (Gil, 2024).

Tabla 2. *Impacto de la IA en la gestión empresarial y el capital humano*

CATEGORÍA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Impacto En La Gestión	Automatización de procesos	Uso de IA para optimizar tareas repetitivas y rutinarias, mejorando la eficiencia y reduciendo costos operativos.
	Personalización del cliente	Análisis de grandes volúmenes de datos para ofrecer experiencias personalizadas, aumentando la satisfacción y retención de clientes.
	Innovación disruptiva	Desarrollo de innovaciones en productos y servicios mediante la identificación de oportunidades no detectadas previamente, permitiendo a las empresas emergentes competir con grandes corporaciones.
Impacto En El Capital	Desarrollo de habilidades	Requiere el desarrollo de competencias emergentes, incluyendo análisis de datos, programación y pensamiento crítico, para adaptarse a un entorno laboral influenciado por la IA.
	Educación y formación	Importancia de la educación continua y la formación en habilidades tecnológicas y sociales para preparar a los trabajadores para un futuro dominado por la IA.
	Adaptación al cambio	Capacidad de los trabajadores para ajustarse a los cambios tecnológicos y organizacionales impulsados por la IA, lo que

incluye la adquisición de habilidades blandas como la colaboración y la comunicación.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados.

El uso de la inteligencia artificial en la administración del talento, particularmente en procesos como el reclutamiento y la evaluación del desempeño, evidencian aportaciones significativas en términos de eficiencia y precisión (Mir, 2024). No obstante, la literatura consultada alerta sobre desafíos de gran envergadura en el plano ético que no pueden ser obviados.

La presencia de sesgos algorítmicos constituye una preocupación central, pues puede reproducir o incluso amplificar desigualdades preexistentes en los procesos de selección y evaluación (López, 2024; Ruiz, 2022). De igual manera, la protección de la privacidad y el manejo responsable de los datos personales se erigen como aspectos críticos que requieren marcos normativos y prácticas organizacionales claras (Cadillo, 2023).

A ello se suma la discusión en torno a la responsabilidad en la toma de decisiones automatizadas, especialmente en contextos donde las resoluciones impactan la trayectoria profesional de las personas (Contreras, 2025). En consecuencia, los autores coinciden en que garantizar un uso justo, transparente y éticamente responsable de la IA es una condición indispensable para su legitimidad y sostenibilidad en el ámbito organizacional, como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. *Aplicaciones y desafíos éticos de la IA en administración del capital humano*

CATEGORÍA	VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Aplicaciones De La IA	Reclutamiento y selección	Uso de IA para análisis de currículos, entrevistas y evaluación de compatibilidad.
	Análisis de desempeño	Modelos predictivos para evaluar rendimiento y toma de decisiones basada en datos.
	Desarrollo y capacitación	Plataformas de aprendizaje personalizado y análisis de brechas de habilidades.
Desafíos Éticos	Sesgos algorítmicos	Riesgo de que los algoritmos de IA repliquen o amplifiquen sesgos existentes en los datos, lo que puede llevar a decisiones injustas o discriminatorias.
	Privacidad de datos	Preocupaciones sobre el manejo y protección de datos personales de empleados y candidatos.
	Responsabilidad en decisiones	Discusión sobre quién es responsable cuando una máquina toma decisiones erróneas, especialmente en contextos críticos como la evaluación de candidatos para puestos laborales o la autorización de créditos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados.

La Tabla 4 evidencia que la inteligencia artificial constituye un parteaguas en la administración del talento humano, al modificar procesos fundamentales como la captación, valoración y permanencia del personal. La integración de la IA fortalece liderazgos adaptativos, promueve una cultura digital y desarrolla habilidades técnicas y socioemocionales en los colaboradores. Fenwick (2024) destaca que el éxito en la adopción

de IA depende de la preparación de la fuerza laboral y de líderes capaces de guiar la transición tecnológica.

Gong, Fan y Bartram (2024) señalan que la IA mejora la eficiencia y la precisión en la toma de decisiones de recursos humanos, aunque requiere actualización continua y aprendizaje permanente.

Contreras (2025) añade que la sinergia entre personas y tecnología se consolida como eje estratégico para alinear al capital humano con los objetivos institucionales y mejorar el desempeño organizacional.

Tabla 4. Principales hallazgos e interpretación.

CRITERIO	HALLAZGO RELEVANTE	INTERPRETACIÓN
Transformación Digital	Se requiere liderazgo adaptativo y una cultura tecnológica para la incorporación de la IA.	Las organizaciones necesitan rediseñar su cultura y liderazgo para enfrentar el cambio digital.
Formación y Capacitación	La IA exige el desarrollo de habilidades digitales, socioemocionales y aprendizaje permanente.	La capacitación constante es un eje esencial para lograr sinergia entre humanos y tecnología.
Retención y Desempeño	La IA permite monitorear el compromiso del talento y evaluar el desempeño de forma precisa.	Herramientas de IA pueden generar estrategias más eficaces para mantener talento clave.
Reclutamiento y Selección	La IA mejora la objetividad del proceso y reduce sesgos.	Se optimizan los procesos de atracción de talento alineados con perfiles organizacionales.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados.

En la Tabla 5, los resultados muestran que la IA potencia la competitividad empresarial a través de la automatización de tareas y la mejora en la gestión logística, y la personalización de servicios. Contreras (2025) destaca que estas capacidades permiten a las organizaciones generar innovación constante y ventajas estratégicas en entornos dinámicos. Además, Gong et al. (2024) enfatizan que la inversión sostenida en tecnología y la formación de talento especializado son condiciones necesarias para transformar la eficiencia operativa en resultados estratégicos.

Tabla 5. Impacto estratégico de la IA en la gestión empresarial

CRITERIO	APLICACIÓN CLAVE	CONTRIBUCIÓN ESTRATÉGICA
Automatización de Procesos	Optimiza tareas rutinarias y reduce costos operativos.	Incrementa la eficiencia operativa liberando recursos humanos hacia tareas estratégicas.
Personalización y Experiencia	Analiza datos masivos para crear experiencias individualizadas para clientes.	Mejora la fidelización y la satisfacción del cliente, impactando directamente en los ingresos.
Innovación y Análisis Predictivo	Identifica patrones para decisiones estratégicas y genera productos innovadores.	Permite a las organizaciones anticiparse al mercado y generar ventajas competitivas.

[Capítulo 2] Gestión del cambio en la era de la IA: desafíos y oportunidades para la administración del talento humano

Cadena de Suministro	Mejora inventarios, rastreo y previsión de demanda.	Incrementa la resiliencia y eficiencia logística, clave en economías globalizadas.
----------------------	---	--

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados.

La Tabla 6 evidencia que la adopción de IA plantea retos éticos, legales y sociales, como la protección de la información, la claridad en los algoritmos y la posibilidad de sustitución de puestos de trabajo. Cadillo (2023) advierte que, sin marcos normativos claros y políticas de *reskilling*, la IA puede profundizar desigualdades y vulnerar derechos laborales, resalta la relevancia de asegurar la transparencia y la responsabilidad en los procesos de decisiones automatizadas. Marengo (2023) subraya que la formación continua y la ética organizacional son esenciales para proteger al talento humano frente a la automatización y asegurar un uso responsable de la IA.

Tabla 6. Implicaciones éticas, laborales y adaptativas del uso de IA

CATEGORÍA	HALLAZGO SIGNIFICATIVO	IMPLICACIÓN ÉTICA Y SOCIAL
Transparencia Y Regulación	Necesidad de marcos legales que eviten sesgos y garanticen la rendición de cuentas.	Urge establecer políticas públicas claras que regulen la toma de decisiones automatizadas.
Impacto En El Empleo	Sustitución de tareas rutinarias y necesidad de <i>reskilling</i> del talento humano.	Las instituciones educativas deben alinear sus planes de estudio con nuevas competencias digitales.
Protección De Datos	Riesgos en la privacidad ante el uso intensivo de datos personales.	Se requiere normatividad robusta en torno a la ética de la IA y la gobernanza de datos.
Responsabilidad Algorítmica	Dilemas en la atribución de errores cuando las decisiones son automatizadas.	Surgen nuevos debates sobre la responsabilidad legal y moral de decisiones tomadas por máquinas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recolectados.

Discusión

El análisis de desafíos y oportunidades de la aplicación de la inteligencia artificial en la administración del capital humano revela una transformación profunda que trasciende lo tecnológico y reconfigura la gestión empresarial y dinámicas del capital humano. Frente a esta disrupción, se erigen retos de gran calado que exigen una aproximación tanto ética como estratégica. En este escenario, la sinergia entre capacidades humanas y sistemas artificiales se constituye como pilar fundamental para amplificar beneficios de la IA y contrarrestar riesgos de automatización y manejo de datos masivos. Derivado de lo anterior, se impone para las organizaciones un triple mandato: la inversión urgente en capacitación constante de los trabajadores, el robustecimiento de sus infraestructuras tecnológicas y la instauración de marcos éticos sólidos que cimienten un uso responsable y equitativo de estas tecnologías.

Los hallazgos de esta investigación delinean un proceso de integración de la IA que es, por naturaleza, profundamente multidimensional. Su influencia trasciende lo tecnológico

para permear modelos de gestión del talento, impulsar eficiencia operativa y tensionar fundamentos éticos y adaptativos del entorno laboral. Lejos de ser herramienta pasiva, la IA opera como dinamizador del cambio organizacional, impulsando automatización de procesos, instaurando cultura de decisión basada en datos y redefiniendo espacios y relaciones de trabajo. Desde la perspectiva de la gestión empresarial, la IA permite aumentar la competitividad mediante análisis predictivo, procesamiento masivo de datos y optimización de la cadena de valor. Su valor estratégico no se limita a la eficiencia operativa, sino que también reside en su capacidad para redefinir modelos de negocio, generar innovación disruptiva y personalizar la experiencia del cliente. No obstante, estos beneficios solo se concretan si se acompaña de liderazgo transformacional, una cultura organizacional digital y marcos de gobernanza claros.

Los hallazgos resaltan tensiones éticas y sociales críticas. La automatización puede liberar a los trabajadores de tareas rutinarias, pero también plantea riesgos de desplazamiento laboral, ampliación de brechas digitales y vulneración de la privacidad. Por ello, resulta indispensable implementar políticas públicas, normas institucionales y sistemas de regulación que aseguren transparencia algorítmica, protección de datos y responsabilidad en la toma de decisiones automatizadas, garantizando que la IA se utilice como herramienta de progreso sostenible y equitativo dentro de las organizaciones.

Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación indican que la inteligencia artificial está redefiniendo estructuralmente los pilares de la administración de capital humano y los procesos organizacionales. El análisis realizado pone de relieve ventajas estratégicas incontrovertibles, entre las que destacan la optimización de procesos, la adopción de modelos de decisión sustentados en datos, la objetivación de los procesos de selección y evaluación, y la capacidad para generar innovación de carácter disruptivo. Sin embargo, estos beneficios no son automáticos; dependen de condiciones habilitantes como liderazgo adaptable, cultura organizacional digitalmente madura, infraestructuras tecnológicas robustas y capital humano preparado para interacción sinérgica con sistemas inteligentes.

De forma paralela, y con no menor urgencia, los resultados enfatizan la criticalidad de enfrentar los complejos desafíos éticos y sociales intrínsecos a la adopción de la IA. Problemáticas como sesgos algorítmicos, vulnerabilidad en protección de datos y riesgo de desplazamiento laboral exigen desarrollo de marcos normativos sólidos y políticas de capacitación. Estas acciones constituyen el camino viable hacia una adopción responsable y equitativa. En definitiva, los resultados convergen en que la sinergia estratégica entre talento humano y capacidades tecnológicas es el principio rector para maximizar desempeño organizacional y alinear capital humano con objetivos institucionales. Adoptar este enfoque integral es clave para capitalizar oportunidades de la IA y transformar sus desafíos en vectores de adaptación exitosa, resiliencia fortalecida y crecimiento sostenible.

Referencias

- Cadillo, R. I. T. (2023). Los riesgos y los desafíos que enfrentan los trabajadores frente al uso de la inteligencia artificial en el trabajo. *Revista de Derecho Procesal del Trabajo*, *6*(7), 289-313. <https://doi.org/10.47308/rdpt.v6i7.778>
- Cárdenas, C. V. G., Pacheco, E. S. A., Macías, R. A. S., & Vásquez, G. P. V. (2024). Inteligencia artificial en la formación y desarrollo del talento humano en las organizaciones públicas y privadas. *Suplemento Cica Multidisciplinario*, *8*(017), 1-19. <https://doi.org/10.56124/scicam.v8i017.101>
- Contreras, F. C. (2025). Revolucionando el desarrollo organizacional: La influencia de la inteligencia artificial en la transformación empresarial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, *9*(1), 1-10. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16466
- Fernández, A. M., & de Lama, S. D. P. (2018). La cuarta revolución industrial y la agenda digital de las organizaciones. *Economía Industrial*, *407*, 95-104.
- Fenwick, A. (2024). Revisiting the role of HR in the age of AI: Bringing humans and machines closer together in the workplace. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *7*, 1272823. <https://doi.org/10.3389/frai.2023.1272823>
- Foffano, F., Scantamburlo, T., & Cortés, A. (2022). Invertir en IA para el bien social: Un análisis de las estrategias nacionales europeas. *AI & Sociedad*, *38*, 479-500. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01445-8>
- Gil, C. A. R. (2024). Talento humano e inteligencia artificial en el desempeño laboral en un gobierno regional de Perú. *Revista de Climatología, Edición Especial Ciencias Sociales*, *24*, 1323-1348. <https://doi.org/10.59427/rcli/2024/v24cs.1322-1348>
- Gong, Q., Fan, D., & Bartram, T. (2024). Integrating artificial intelligence and human resource management: A review and future research agenda. *The International Journal of Human Resource Management*, *35*(12), 2335-2365. <https://doi.org/10.1080/09585192.2024.2440065>
- Herrera, M. B. G., Reyes, E. J. R., & Acosta, F. A. S. (2023). Estudio cualitativo sobre la interacción de la inteligencia artificial con el desarrollo de las habilidades cruciales del capital humano. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinaria*, *7*(6), 42. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8855
- Khan, M. R. (2024). Application of artificial intelligence for talent management: Challenges and opportunities. En T. Ahram, R. Taiar, K. Langlois, & A. Choplin (Eds.), *Intelligent human systems integration* (pp. 324–329). AHFE International. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004496>
- López, I. D. (2024). El impacto de los sistemas algorítmicos en los procesos de selección de personal. Análisis jurídico-laboral a la luz del nuevo reglamento europeo en materia de inteligencia artificial. *Revista de Trabajo y Seguridad Social. CEF*, *478*, 49-82. <https://doi.org/10.51302/rtss.2024.22257>

- Marengo, S. A. G. (2023). ¿Por qué la IA generará una crisis del empleo en América Latina y cómo enfrentarla? *Política Internacional*, *134*, 75-93. <https://doi.org/10.61249/pi.vi134.91>
- Mir, A. I. (2024). Application of AI in talent management: A systematic review of benefits, challenges, and prospects. *Academy of Education and Social Sciences Review*, *4*(4), 612-630. <https://doi.org/10.48112/aessr.v4i4.941>
- Oeij, P., Preenen, P., van der Torre, W., van der Meer, L., & van den Eerenbeemt, J. (2019). Elección tecnológica e innovación en el lugar de trabajo: Hacia un trabajo eficiente y humanizado. *Revista Europea de Innovación Pública y Social*, *4*(1), 15-26. <https://doi.org/10.31637/EPSIR.19-1.2>
- Ore, O., & Sposato, M. (2021). Opportunities and risks of artificial intelligence in recruitment and selection. *International Journal of Organizational Analysis*, *29*(5), 1349-1365. <https://doi.org/10.1108/IJOA-07-2020-2291>
- Pandolfi, D., & Villagra, A. (2025). Inteligencia artificial y trabajo: Todo es caos bajo las estrellas. RevITA, Revista Electrónica del Instituto de Tecnología Aplicada, Universidad Nacional de la Patagonia Austral, *3*(1), 1-10. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16466
- Ruiz, F. J. B. (2022). La paradoja de la transparencia en la IA: Opacidad y explicabilidad. Atribución de responsabilidad. *Revista Internacional de Pensamiento Político*, *17*, 261-272. <https://doi.org/10.46661/revintpensampolit.7526>
- Saxena, A., Dias, R. T., & Irfan, M. (2024). AI's strategic role in HR management. En T. A. Editor (Ed.), *Advances in human resource management* (pp. 145-162). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6412-3.ch008>
- Valderrama, B. (2019). Transformación digital y organizaciones ágiles. *Arandu UTIC*, *6*(1), 15-50.
- Vergés, C. (2022). 17*(1), 45-62. <https://doi.org/10.18270/rcb.v17i1.3937>

Cita APA 7ma edición: Hernández Hernández, J. B., Enríquez Hernández, J. A., & Ponce Martínez, L. E. (2025). La inteligencia artificial como herramienta disruptiva en el aprendizaje de programación. En J. A. Enríquez Hernández, J. B. Hernández Hernández, & L. E. Ponce Martínez (Coords.), *IA y educación superior: Alianza o amenaza* (pp. 59-70). Editorial Sinergy.

Capítulo 3

La Inteligencia Artificial como Herramienta Disruptiva en el Aprendizaje de Programación

Artificial Intelligence as a Disruptive Tool in Programming Learning

Jesús Bladimir Hernández Hernández

 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
0009-0007-4081-1069 | jbladimir.hernandez@itsta.edu.mx

Juan Antonio Enríquez Hernández

 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
0000-0002-3314-4532 | juan.enriquez@itsta.edu.mx

Lluvia Eréndira Ponce Martínez

 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca
0000-0002-2302-9899 | lluvia.erendira@itsta.edu.mx

Resumen

La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en las aulas se ha convertido en uno de los recursos más significativos para crear conocimiento, generando así un impacto sustancial en el desarrollo de la tecnología al tiempo que ha provocado una transformación importante en la sociedad.

La IA se ha convertido en una herramienta convencional que abarca la totalidad del proceso educativo en casi todas las ramas del conocimiento y en todos los niveles, el caso del aprendizaje de la programación no es un caso excluido, esto debido a que su uso en el desarrollo de software permite generar conocimiento basado en el ritmo de cada estudiante y lo mejor de todo, obtener una retroalimentación inmediata, facilitando así la corrección de errores y una mayor precisión. Por un lado, el desarrollo de software en menor tiempo y de mejor calidad es sinónimo de la optimización del factor tiempo, sin embargo, el verdadero desafío surge cuando el alumno recurre al uso de la inteligencia artificial sin haber desarrollado previamente las competencias básicas en lógica computacional. El uso de la IA directamente en ese proceso de formación puede generar una entera dependencia ocasionando un retraso en la adquisición de capacidades fundamentales para un alumno principiante en el desarrollo de software. Por consiguiente, el principal reto es asegurar que la inteligencia artificial funja como un andamiaje cognitivo que permita la construcción del conocimiento y no como una herramienta que termine suplantando o sustituyendo la adquisición de las competencias básicas.

El presente estudio está basado en un enfoque de investigación documental, cualitativo y transversal, utilizando la aplicación de encuestas mediante un cuestionario digital diseñado en la plataforma de Google Forms seleccionado por su eficiencia y por la facilidad de exportación de resultados para su posterior análisis.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, Aprendizaje en línea, Educación superior, Educación virtual.

Abstract

The application of Artificial Intelligence (AI) in the classroom has become one of the most significant resources for creating knowledge, generating a great impact on the development of technology at the same time it has brought a significant transformation in society.

AI has become a mainstream tool that encompasses the entire educational process in almost all branches of knowledge, including all levels. Programming learning is not an exception. The use of this in software development enables the generation of knowledge based on each student's pace, and it provides immediate feedback, which facilitates error correction and greater precision. Although developing software in less time and of better quality is synonymous with optimizing the time factor, the real challenge arises when students resort to using artificial intelligence without having previously developed basic skills in computational logic. The direct use of AI in this training process can generate complete

dependency, causing a delay in the acquisition of fundamental skills for a student new to software development. Therefore, the main challenge is to ensure that artificial intelligence functions as a cognitive framework that enables the construction of knowledge and not as a tool that ends up supplanting or replacing the acquisition of basic skills.

This study utilizes a qualitative, cross-sectional, documentary research method, which employs a digital questionnaire created for the Google Forms platform, chosen for its efficiency and ease of exporting results for subsequent analysis.

Keywords: Artificial intelligence, Online learning, Higher education, Virtual education.

Introducción

En los últimos años, la revolución tecnológica, específicamente del área computacional, ha influido en algunos aspectos de la sociedad moderna, y la educación es una de ellas, impactando directamente en la manera de impartir clases, mejorando significativamente el rendimiento académico y en el desarrollo de nuevas técnicas y habilidades. La inteligencia artificial se ha consolidado como una tecnología que está alterando de raíz tanto la dinámica de instrucción docente como la experiencia de adquisición de conocimientos por parte del estudiante (Calderón, 2024). El uso de la IA permite personalizar el conocimiento basado en los intereses y capacidades del alumno, lo que la hace un excelente recurso educativo mejorando la calidad en proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, no el uso recurrente de esta herramienta plantea importantes retos y desafíos, quedando en el aire cuestionamientos sobre el impacto real en la formación en el desarrollo académico, ético y profesional de los estudiantes.

El presente estudio, analiza como el uso de la Inteligencia Artificial ha venido a revolucionar la manera de aprender a programar, específicamente en los estudiantes del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Particularmente el uso de la IA representa una excelente opción para mejorar la formación técnica de los estudiantes, mejorando su comprensión y desempeño académico. Como lo menciona Moya (2023), la IA contribuye a mejorar la experiencia educativa al habilitar un aprendizaje a la medida de cada estudiante, proporciona evaluaciones al instante y agilizar significativamente la gestión educativa. En este escenario, cobra especial relevancia la idea de adaptar la educación a cada persona. Los sistemas de inteligencia artificial tienen el potencial de moldearse a la velocidad y la forma única en que cada estudiante aprende. Esto, a su vez, actúa como un entrenamiento personalizado, potenciando su habilidad para encontrar soluciones y desarrollar un pensamiento estructurado y lógico. (Rasgado, et al., 2024), esto permite que los alumnos tengan un aprendizaje personalizado basado en sus necesidades, intereses personales y ritmo. La Inteligencia Artificial Generativa (IAG) posee una cualidad excepcional: poder crear material de aprendizaje que se ajusta sobre la marcha. Esta flexibilidad es precisamente lo que la hace

tan valiosa para diseñar experiencias educativas, especialmente cuando se trata de superar las dificultades más intrincadas que surgen al enseñar a programar. (Chávez-Bosa, et al., 2024). La inteligencia artificial está transformando la educación al crear herramientas que se adaptan a cada estudiante. Esto permite que la enseñanza tradicional se enriquezca con recursos digitales, dando lugar a asistentes virtuales, sistemas de revisión de código de forma automática, métodos para identificar estilos de aprendizaje y plataformas que sugieren contenidos personalizados, etc. (Mosquera, et al., 2020).

Por un lado, la implementación y uso de la IA emerge como un paradigma transformador en el desarrollo de software, por el otro, puede ser un problema bastante serio sino se utiliza de manera adecuada. Para trabajar efectivamente con la inteligencia artificial, debemos expresar nuestros prompts con la mayor precisión posible. La claridad en lo que pedimos determina directamente la calidad y utilidad de las respuestas que obtenemos. (Rasgado, et al., 2024). El auge de la inteligencia artificial en el mundo actual ha creado una nueva necesidad para los desarrolladores: aprender a incorporar de manera natural las ventajas de esta tecnología en sus proyectos de software. (Ordoñez, et al., 2024). No obstante, es crucial reconocer que el mismo progreso tecnológico que nos beneficia también amplifica sus posibles consecuencias no deseadas. (Franganillo, 2022), por lo que, la convierte en una herramienta que se debe usar con mucho cuidado, debido a que no humaniza el código, es decir, solo responde con base a la consulta realizada sin prever todos los aspectos que requiere un software.

Los conocimientos básicos siempre son importantes, antes de integrar la Inteligencia Artificial en el aprendizaje de desarrollo de software, así lo menciona Jiménez Rasgado (2004) una barrera significativa al implementar IA en educación es que los estudiantes necesitan contar con unas bases mínimas de programación para poder aprovecharla plenamente, debido a que no se debe dar por sentado la respuesta de una Inteligencia Artificial sin revisar el resultado, por lo que el desafío de un aprendiz en programación siempre será la verificación del código. Cuando se usa la inteligencia artificial sin una guía clara, existe el riesgo de dependencia. Esta dependencia progresiva puede llegar a opacar el criterio propio y debilitar la confianza en la capacidad para tomar decisiones de forma autónoma. (Marín, et al. 2024), Por ello, resulta fundamental crear un marco de referencia que ayude a distinguir cuándo se está utilizando de manera adecuada o inadecuada la inteligencia artificial (Terán, 2023). La evidencia indica que mientras más se hace dependencia de la inteligencia artificial, menos se ejercita la capacidad de pensar por cuenta propia. Esta dependencia progresiva puede disminuir la capacidad para aprender de forma autónoma como la habilidad para resolver problemas de manera independiente. (Loján, et al., 2024).

En definitiva, la inteligencia artificial está redefiniendo la forma en que se crea el software, liberando al programador de tareas repetitivas y permitiendo que los sistemas funcionen de manera más inteligente y eficiente. (Salazar Cedeño et al., 2024).

Metodología

El diseño de esta investigación, de naturaleza cualitativa y transversal, se implementó mediante una recolección de datos correspondiente al semestre febrero-julio 2025.

La población de estudio fue de 77 estudiantes entre las edades que va de los 18 a 23 años, de los cuales, el 42.9% son mujeres y el 57.1% son hombres de los ocho semestres que conforman el plan educativo del programa de Ingeniería en Sistemas Computacionales impartido en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, seleccionando una muestra discrecional del total de alumnos que conforman la población de este programa educativo.

La recolección de información se realizó mediante encuestas en línea utilizando *Google Forms*, buscando captar la percepción general sobre el carácter transformador de la IA en la enseñanza de la programación.

Asimismo, para evaluar los efectos de la IA en el rendimiento académico y el desarrollo de habilidades técnicas se empleó la investigación de campo mediante observaciones en el desarrollo de prácticas de materias como Programación Orientado a Objetos, Tópicos Avanzados de Programación y Fundamentos de Base de Datos, analizando y documentando el uso de los prompts utilizados en la búsqueda de información, observando los resultados y comparándolos con aquellos alumnos que no usaron la Inteligencia Artificial para el desarrollo de sus prácticas.

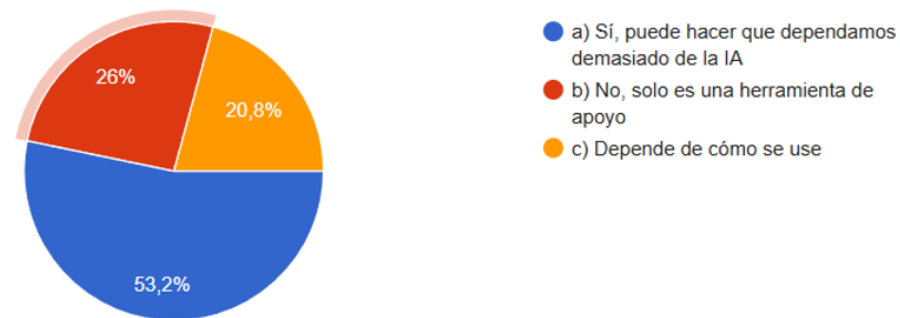
Resultados

Una vez realizadas las encuestas por parte de los alumnos, el 100% admite integrar herramientas de Inteligencia Artificial en los procesos de aprendizaje académico, especialmente en el área de desarrollo de software, sin embargo, están conscientes que puede no ser tan favorable ya que puede crear una dependencia en su uso generando un impacto negativo en cuanto al aprendizaje y desarrollo del pensamiento crítico.

La figura 1 presenta los resultados obtenidos al preguntar a los estudiantes si consideran que la Inteligencia Artificial puede reducir el esfuerzo necesario para resolver problemas, afectando así su proceso de aprendizaje. Los datos revelan que el 53.2% de los encuestados respondió afirmativamente, lo que sugiere un posible riesgo de dependencia hacia estas herramientas. Este porcentaje resulta significativamente mayor en comparación con el 26% que percibe la Inteligencia Artificial únicamente como un instrumento de apoyo académico.

Figura 1. *Percepción sobre como IA puede reducir el esfuerzo necesario para resolver problemas, afectando el aprendizaje.*

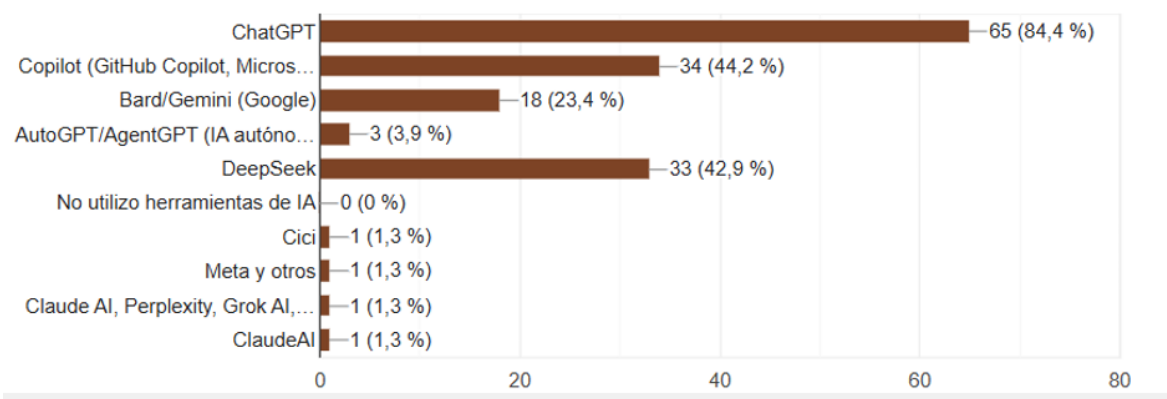
77 respuestas



Entre las aplicaciones de Inteligencia Artificial utilizadas por los estudiantes, *ChatGPT* fue, con mucho, la más destacada: el 84.4% dijo que la había utilizado al menos una vez. Esta preferencia podría atribuirse a su mayor reconocimiento entre la comunidad estudiantil. Otras herramientas como Copilot (44.2%) y DeepSeek (42.9%) presentan una adopción significativamente menor, ocupando el segundo y tercer lugar respectivamente en cuanto a frecuencia de uso. La Figura 2 presenta los resultados obtenidos de la pregunta de selección múltiple aplicada.

Figura 2. *Herramientas de Inteligencia Artificial más comúnmente utilizadas*

77 respuestas

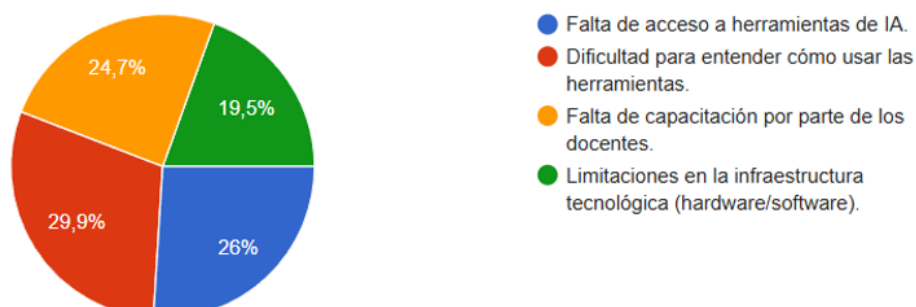


La inteligencia artificial se ha consolidado como un recurso fundamental para la construcción de actividades académicas. Sin embargo, las estadísticas muestran otra cosa (Figura 3): el 29.9% de los estudiantes está teniendo dificultades para aprovechar los recursos tecnológicos según sus propias necesidades. Este resultado muestra la necesidad de capacitación sobre

cómo formar prompts, ya que el control sobre sus elementos es necesario para un mejor rendimiento.

Figura 3. *Obstáculos en el uso de herramientas de Inteligencia Artificial observados por los estudiantes.*

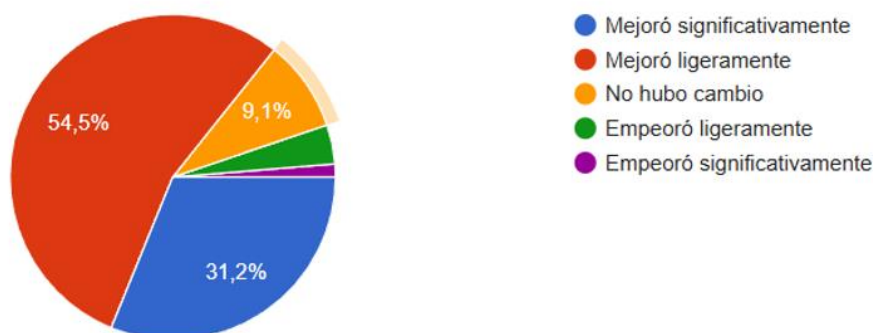
77 respuestas



En cuanto a los efectos de la IA en el aprovechamiento académico, los resultados indican que los estudiantes aún no han comprendido su potencial como herramienta de aprendizaje. Como se observa en la figura 4, mientras el 54.5% de los encuestados reporta una mejora ligera en su desempeño académico con el empleo de Inteligencia Artificial en actividades prácticas, sólo el 31.2% indica una mejoría significativa. Esta disparidad podría atribuirse a factores como la falta de capacitación especializada u orientación adecuada en el manejo de estas herramientas tecnológicas.

Figura 4. *Impacto del uso de Inteligencia Artificial en el aprovechamiento académico*

77 respuestas

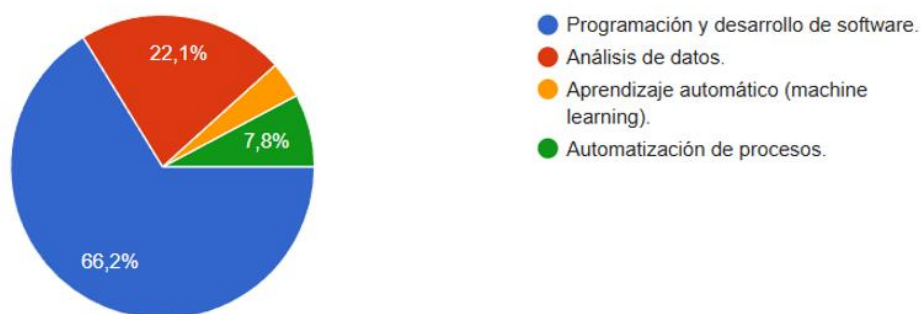


Respecto a las áreas de formación donde los estudiantes perciben el mayor impacto de la Inteligencia Artificial en sus actividades prácticas, los resultados muestran una marcada preferencia: el 66.2% de los encuestados identificó la programación y desarrollo de software

como el ámbito de mayor beneficio, mientras que solo el 22.1% destacó el análisis de datos como área principal de aplicación, figura 5.

Figura 5. *Áreas específicas de formación de mayor impacto al utilizar la Inteligencia Artificial en actividades prácticas*

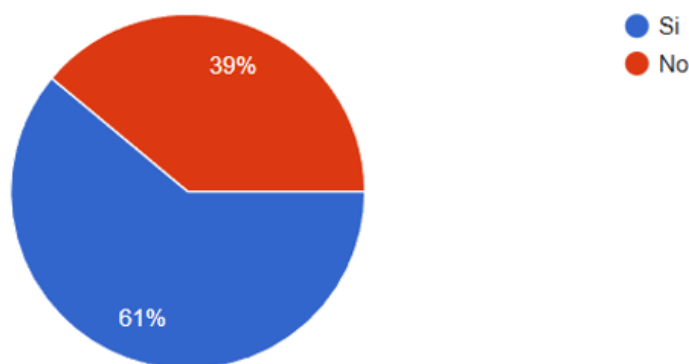
77 respuestas



Al evaluar la percepción sobre posibles efectos negativos de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas de manera independiente, los resultados fueron significativos: el 61% de los encuestados consideró que el uso inadecuado de la IA podría afectar negativamente el desarrollo del pensamiento crítico estudiantil. Por el contrario, apenas el 39% manifestó no identificar impactos adversos en dicha capacidad.

Figura 6. *Percepción estudiantil del impacto negativo de la Inteligencia Artificial en la solución independiente de problemas*

77 respuestas



Discusión

Los hallazgos del presente estudio determinan que la Inteligencia Artificial juega un papel muy importante en el aprendizaje de nuevas técnicas de programación particularmente en

alumnos que se preparan para ser futuros desarrolladores de software, del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. En este contexto, el estudio demuestra que casi la totalidad de los alumnos utilizan herramientas como *ChatGPT* (84.4%) para el desarrollo de actividades técnicas de su formación, especialmente en áreas como el desarrollo de software (66.2%). Esto se alinea con las observaciones de Vázquez, et al. (2024), quienes enfatizan que cuando el aprendizaje se adapta a las necesidades únicas de cada estudiante, no solo se crea una experiencia educativa más significativa, sino que se acelera de manera natural el dominio de competencias técnicas. No obstante, la inquietud del 53.2% de los estudiantes sobre el riesgo de depender de las inteligencias artificiales, revela una gran preocupación: por un lado, la Inteligencia Artificial puede simplificar la resolución de problemas, desarrollo de software de alta calidad en un tiempo menor, y por el otro, su uso indiscriminado podría disminuir la formación de competencias esenciales, como el desarrollo lógico para análisis algorítmicos y depuración de código.

La problemática identificada evidencia una insuficiencia en el conocimiento para la formulación de prompts efectivos, ya que el 28.6 % de los estudiantes encuestados presentó dificultades en su elaboración, lo que impacta directamente en la obtención de resultados objetivos. Como señala Padilla (2024), otro aspecto importante también cobra fuerza al considerar la necesidad de establecer lineamientos claros que orienten cómo implementar la inteligencia artificial en las aulas. Esta situación se relaciona con los hallazgos en el estudio de Loján et al. (2024), quienes expresaron dudas sobre si los estudiantes podrán mantener su independencia para aprender y resolver problemas sin depender constantemente de un soporte tecnológico.

Toca el turno de hablar sobre el rendimiento académico, el 54.5% menciona que su rendimiento académico ha mejorado ligeramente, mientras que el 31.2% menciona que ha sido significativa, lo que indica que la Inteligencia Artificial no es un conducto para la adquisición de conocimiento de manera definitiva, sino que su valor pedagógico va a depender de gran manera del profesor, por lo que, el rol del docente sigue siendo el eje central en la generación de conocimiento. En su estudio, Vallejo et al. (2024) argumentan que la Inteligencia Artificial viene a ser como un amplificador de las capacidades del docente, aunque nunca podrá suplir aquellos rasgos profundamente humanos que dan sentido al acto de enseñar. Por ejemplo, se puede utilizar la Inteligencia Artificial para generar código que obtenga el resultado de una operación, sin embargo, se necesita de la intervención humana para validar dicho resultado.

Por lo anterior, el potencial de la Inteligencia Artificial y la aplicación práctica en el aula como parte de una formación académica efectiva, refleja una necesidad institucional imprescindible que muchas veces se ha dejado de lado: programas de capacitación en el uso de la Inteligencia Artificial, en *prompt engineering* (ingeniería de prompts) y la implementación de la Inteligencia Artificial basada en la ética. La Inteligencia Artificial cada vez más parece razonar como humano, pero carece de capacidad para humanizar el código de programación, a modo que pueda presentar soluciones dentro de lo ético y lo permitido. Por lo que, los docentes tienen un gran trabajo, primero, fomentar el uso capacitando al

alumno con el dominio técnico necesario para hacer buen uso de ella, y segundo, crear la conciencia crítica sobre los límites de la Inteligencia Artificial y la responsabilidad asociada con su uso.

Por último, el 61% de los estudiantes opinaron sobre el impacto negativo de la Inteligencia Artificial en su capacidad de resolver problemas sin el uso de esta tecnología, resulta ser un gran desafío: ¿cómo aprovechar los recursos de la Inteligencia Artificial sin comprometer la formación académica y profesional de los alumnos para innovar soluciones propias más allá de las automatizadas? La respuesta, como lo menciona González (2023), se debe usar con un sentido de responsabilidad genuino, preguntando siempre si lo que se evalúa refleja realmente los conocimientos y habilidades que tendrán valor en la vida de los estudiantes.

Conclusiones

La inteligencia artificial está presente en todos los sectores de la sociedad y en la educación superior ha catapultado la manera de aprender y adquirir habilidades técnicas, pero su integración en el ámbito de la programación de sistemas requiere de un equilibrio entre la innovación, eficiencia, rapidez y la preservación de competencias básicas en el ámbito de desarrollo de lógica algorítmica y computacional. Con base a los resultados obtenidos en el presente estudio se llega a las siguientes conclusiones:

La Inteligencia Artificial es un facilitador, no un sustituto en el desarrollo de software. Si bien herramientas como *ChatGPT*, *Copilot* y *DeepSeek* agilizan el desarrollo de actividades específicas de programación, su uso prematuro sin conocimientos sólidos de lógica computacional puede generar un grave problema: para un experto en desarrollo de software constituye una valiosa herramienta de apoyo, pero para estudiantes principiantes representa una tecnología con alto riesgo, ya que obstaculiza el desarrollo del pensamiento algorítmico. Los estudiantes deben dominar temas básicos como: Algoritmos, programación, estructuras de datos, base de datos, ingeniería de software antes de usar la Inteligencia Artificial como el principal recurso en el desarrollo de software. La Inteligencia Artificial debe ser un apoyo no un instrumento único.

La capacitación para el uso de las herramientas de inteligencia artificial es urgente: El 29.6% de los estudiantes comentaron tener dificultad para usar las herramientas de Inteligencia Artificial de manera efectiva. Es necesario que el TecNM considere la incorporación de nuevas materias en el plan de estudios del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales tales como: Desarrollo de Software con Inteligencia Artificial y *Prompt Engineering*, así como algunas competencias específicas para analizar de manera crítica las respuestas que pudieran obtener con el uso de la Inteligencia Artificial. Esto permitirá fomentar una mentalidad objetiva, crítica y analítica en los alumnos.

La figura del docente es irremplazable, en esta era digital se debe defender su papel tradicional y convertirlo en facilitador de conocimiento. Esto implica diseñar proyectos reales

utilizando como apoyo actividades y proyectos que integren Inteligencia Artificial de manera efectiva y fomentando la ética sobre su aplicación.

La adquisición del aprendizaje requiere un enfoque más integral, el 81.6% de los estudiantes expresaron haber tenido mejoras en su rendimiento (46.9% mejoró de manera ligera y 34.7% mejoró significativamente). Para aprovechar al máximo es importante combinar la IA con actividades activas —como concursos de desarrollo de software, ferias y festivales expositivas— que exijan creatividad y adaptabilidad, por parte de los alumnos.

Otro punto para analizar es la ética académica. Ciertamente la Inteligencia Artificial constituye un pilar fundamental en la formación académica, por lo que, es urgente desarrollar profesionales conscientes, analíticos y objetivos, que sepan utilizar las aplicaciones tecnológicas de manera responsables, así como la ética sobre el uso de estas tecnologías. En el campo de la programación es importante que el alumno aprenda a usar la Inteligencia Artificial con discernimiento y ética profesional.

Referencias

- Becker, S. A., Cummins, M., Davis, A., Freeman, A., Hall, C. G. & Ananthanarayanan, V. (2017). *NMC Horizon report: 2017 higher education edition*. The New Media Consortium.
- Unesco. (2021). La Inteligencia Artificial en la educación. <https://es.unesco.org/themes/tic-educacion/inteli-gencia-artificial>
- Calderón, C. J. C., & Miranda Bajaña, R. S. (2024). El rol de la inteligencia artificial en la educación inclusiva: Oportunidades y retos para la enseñanza personalizada. *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, 5(2). <https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i2.303>
- Cedeño, P. L. S., Cárdenas Maldonado, J. A., & Lucio Piñaloza, R. del C. (2024). La evolución de la inteligencia artificial y su impacto en el desarrollo de software. *Polo del Conocimiento*, 9(9). <https://doi.org/10.23857/pc.v9i9.8077>
- Chávez-Boza, B. M., & Erazo-Moreta, O. R. (2024). Integración de la inteligencia artificial generativa para el aprendizaje de fundamentos de programación: Una revisión sistemática de la literatura. *Revista Mexicana de Investigación e Intervención Educativa*, 3(2). <https://doi.org/10.62697/rmiie.v3i2.78>
- Franganillo, J., & Franganillo, J. (2022). Contenido generado por inteligencia artificial: Oportunidades y amenazas. *Anuario Think EPI*. <https://doi.org/10.3145/thinkepi.2022.e16a24>
- González, M. A. M. (2023). Uso responsable de la inteligencia artificial en estudiantes universitarios: Una mirada tecnoética. *Revista Boletín Redipe*, 12(9). <https://doi.org/10.36260/rbr.v12i9.2008>
- Loján, M. del C., Romero, J. A., Sancho Aguilera, D., & Romero, A. Y. (2024). Consecuencias de la dependencia de la inteligencia artificial en habilidades críticas y aprendizaje autónomo en los

- estudiantes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10678
- Marín, F. de los Á. R., Espinoza Padilla, J. G., & Mendoza Pacheco, M. F. (2024). Inteligencia artificial: Dependencia y afección del pensamiento crítico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13462
- Mosquera, J. M. L., Llanos Mosquera, J. M., Hidalgo Suarez, C. G., & Bucheli, V. A. (s. f.). Una revisión sistemática sobre aula invertida y aprendizaje colaborativo apoyados en inteligencia artificial para el aprendizaje de programación. *Tecnura*. <https://doi.org/10.14483/22487638.16934>
- Moya, J. G., Arteaga-Alcívar, Y., & Cedeño Zambrano, M. E. (2023). Ventajas y desventajas del uso de las herramientas de inteligencia artificial en la educación. *Revista Tecnopedagogía e Innovación*, 2(2). <https://doi.org/10.62465/rti.v2n2.2023.34>
- Ordoñez, P. F. O., & Erazo Aleaga, Y. V. (2024). Especificación de requisitos de inteligencia artificial en el desarrollo de productos de software. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, 8(2). <https://doi.org/10.33936/isrtic.v8i2.7147>
- Padilla, J. G. Q., & Tarazona Becerra, J. A. (2024). El impacto de la inteligencia artificial generativa en la educación: Desafíos y oportunidades para los docentes del siglo XXI. *Línea Imaginaria*, 1(19). <https://doi.org/10.56219/lneaimaginaria.v1i19.3264>
- Rasgado, G. J., Alor Francisco, R., & Espinosa Valdés, M. E. (2024). Innovación con IA en educación superior: Experiencia de aprendizaje de programación en el Instituto Tecnológico de Minatitlán. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15029
- Terán, H. C. (2023). La implementación de la inteligencia artificial en la enseñanza de la programación: Un estudio sobre el uso ético de ChatGPT en el aula. En *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/paper.2768>
- Vallejo, A. (2024). Transformación del rol docente en la era de la inteligencia artificial: Hacia un liderazgo pedagógico estratégico. *Trayectorias Universitarias*. <https://doi.org/10.24215/24690090e165>
- Vásquez, E. D. C., Nevárez Loza, R., Farez Cherrez, A. M., & Torres Montes, R. E. (2024). Uso de la inteligencia artificial en la personalización del aprendizaje. *Conocimiento Global*, 9(1). <https://doi.org/10.70165/cglobal.v9i1.339>

Cita APA 7ma edición: Arzate Escamilla, E. M., Sánchez Mundo, M. de la L., Salmerón López, J., & García-Ceja, A. (2025). Estudio de vida de anaquel y calidad sensorial de salsas probióticas de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), en Las Choapas. En J. A. Enríquez Hernández, J. B. Hernández Hernández, & L. E. Ponce Martínez (Coords.), *IA y educación superior: Alianza o amenaza* (pp. 71-83). Editorial Sinergy.

Capítulo 4

Estudio de vida de anaquel y calidad sensorial de salsas probióticas de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), en Las Choapas

Shelf life and sensory quality study of probiotic jalapeño pepper sauces (*Capsicum annuum*), in Las Choapas

Esther Mariela Arzate Escamilla

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas



0009-0000-7997-5596 | m-arzatee@choapas.tecnm.mx

María de la Luz Sánchez Mundo

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas



0000-0001-9065-5681 | l-sanchezm@choapas.tecnm.mx

Javier Salmerón López

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas



0009-0002-2786-2500 | jasalo.investigacion@gmail.com

Adelfo García-Ceja

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza



0000-0002-3476-2818 | adelfo.ceja@itsvc.edu.mx

Resumen

Los estudios de determinación de la vida útil son fundamentales en el sector alimentario, dado que permiten establecer el periodo durante el cual un alimento mantiene condiciones adecuadas de inocuidad, calidad sensorial y estabilidad fisicoquímica. El objetivo del trabajo fue evaluar la vida de anaquel y la calidad sensorial de salsas probióticas de chile jalapeño mediante un seguimiento de la fermentación y análisis sensorial durante su almacenamiento. La metodología es experimental, cuantitativa y longitudinal, con un diseño completamente al azar.

Se formuló una salsa de Chile Jalapeño determinando la mejor formulación que cumpla con las características fisicoquímicas y sensoriales. Se presentaron cuatro formulaciones, de las cuales se seleccionó una a la que se le añadieron bacterias ácido-lácticas. Se seleccionó la formulación más aceptada mediante evaluación sensorial con una escala hedónica de 1 a 9, donde los panelistas indicaban su grado de preferencia o desagrado. De las cuatro formulaciones, la F3 fue la elegida se añadieron 5 g. de las bacterias ácido-lácticas (BAL) encapsuladas con alginato de sodio y cloruro de calcio para una mejor viabilidad microbiana. Los resultados obtenidos fueron una salsa de color atractivo, aroma y sabor exquisitos, con características típicas del chile jalapeño, que se puede utilizar como aderezo en gran cantidad de alimentos y que además cuenta con un buen control de calidad en su elaboración. Adicional se le realizó la caracterización de pH, color, grado de acidez y vida de anaquel del cual el mejor resultado fue el tratamiento 2.

Palabras clave: análisis sensorial, vida de anaquel.

Abstract

Shelf-life studies are fundamental in the food sector, as they allow for establishing the period during which a food maintains adequate conditions of safety, sensory quality, and physicochemical stability. The objective of this study was to evaluate the shelf life and sensory quality of probiotic jalapeño pepper sauces by monitoring fermentation and conducting sensory analysis during storage. The methodology is experimental, quantitative, and longitudinal, with a completely randomized design.

A jalapeño pepper sauce was formulated, determining the best formulation that met the physicochemical and sensory characteristics. Four formulations were presented, from which one was selected and lactic acid bacteria were added. The most accepted formulation was selected through sensory evaluation using a hedonic scale of 1 to 9, where panelists indicated their degree of preference or dislike. Of the four formulations, F3 was chosen, and 5 g of lactic acid bacteria were added. The lactic acid bacteria (LAB) were encapsulated with sodium alginate and calcium chloride for improved microbial viability.

The results obtained were a sauce with an attractive color, exquisite aroma and flavor, with characteristics typical of jalapeño peppers. It can be used as a condiment in a wide variety of

foods and also boasts good quality control during its production. Additionally, its pH, color, acidity level, and shelf life were characterized, with treatment 2 showing the best results.

Keywords: Sensory analysis, shelf life.

Introducción

La determinación de la vida útil de un alimento es un aspecto fundamental en la industria alimentaria, ya que permite establecer el período durante el cual un producto mantiene condiciones adecuadas de inocuidad, calidad sensorial y valor nutricional, bajo condiciones específicas de almacenamiento. Su correcta evaluación contribuye directamente a la protección de la salud del consumidor, al evitar el consumo de productos deteriorados o potencialmente peligrosos (Bianchi, 2025).

Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, la vida útil es crucial para controlar el crecimiento microbiano y los cambios fisicoquímicos que pueden comprometer la inocuidad del alimento. Estudios recientes destacan que una vida útil mal estimada puede incrementar el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos (Cruz & Ramos, 2021).

Asimismo, la vida útil tiene un impacto significativo en la calidad sensorial, ya que define el tiempo durante el cual el alimento conserva características aceptables de sabor, aroma, textura y apariencia, factores determinantes para la aceptación del consumidor y la competitividad del producto en el mercado (Espinoza-Téllez, 2024).

Desde una perspectiva económica e industrial, el establecimiento adecuado de la vida útil permite optimizar los procesos de producción, distribución y comercialización, reduciendo pérdidas por caducidad y devoluciones, además de facilitar el cumplimiento de normativas de etiquetado y regulación sanitaria (SGS, 2022).

Finalmente, la vida útil juega un papel relevante en la sostenibilidad y reducción del desperdicio de alimentos, ya que una evaluación científica adecuada contribuye a disminuir el descarte innecesario de productos aún aptos para el consumo, alineándose con los objetivos de seguridad alimentaria y sostenibilidad promovidos a nivel internacional (FAO, 2020).

Las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) pueden mejorar la biodisponibilidad de nutrientes, sintetizar vitaminas del complejo B y facilitar la digestión de proteínas y carbohidratos. Además, algunas cepas reducen compuestos antinutricionales, como fitatos, presentes en alimentos de origen vegetal.

Esta BAL presentan propiedades probióticas, contribuyendo al equilibrio del microbiota intestinal y fortaleciendo el sistema inmunológico del consumidor, siempre que se administren en cantidades adecuadas y mantengan su viabilidad.

El uso de BAL se considera una estrategia de biopreservación, alineada con la tendencia hacia alimentos más naturales y sostenibles. Su empleo permite disminuir la

dependencia de aditivos sintéticos y responde a la demanda del consumidor por productos “*clean label*” (Parada et al.,2020).

Actualmente existe un interés creciente en el desarrollo de alimentos funcionales, como las salsas probióticas, debido a sus beneficios potenciales para la salud. Por lo anterior mencionado, en el presente trabajo se realizó un estudio de vida de anaquel y análisis sensorial a las salsas con chile jalapeño adicionadas con BAL encapsuladas para su consumo como alimento funcional, mediante la aplicación de las pruebas de grado de acidez, pH y color.

Metodología

En los últimos años, el desarrollo de alimentos funcionales ha cobrado relevancia debido a la creciente demanda de productos que, además de aportar valor nutricional, contribuyan al bienestar del consumidor.

El presente estudio se desarrolló bajo una metodología experimental, cuantitativa y longitudinal, con un diseño completamente al azar, orientada a evaluar la vida de anaquel y la calidad sensorial de salsas probióticas elaboradas a base de chile jalapeño durante el almacenamiento.

En el ámbito experimental, se elaboraron salsas probióticas de chile jalapeño inoculadas con bacterias ácido-lácticas (BAL) seleccionadas por su potencial probiótico. La variable independiente fue la formulación de la salsa (con BAL y control sin BAL), mientras que las variables dependientes fueron los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales evaluados durante el almacenamiento.

Se utilizaron métodos analíticos cuantitativos estandarizados para obtener datos numéricos objetivos, tales como: pH, acidez titulable, recuento de BAL viables (UFC/g) y resultados de pruebas sensoriales. Los datos obtenidos permitieron realizar análisis estadísticos para determinar diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de almacenamiento.

El estudio se llevó a cabo de manera longitudinal, es decir, a lo largo de un periodo definido de almacenamiento, evaluando las muestras en diferentes tiempos (por ejemplo: 0, 7, 14, 21 y 28 días), con el fin de observar la evolución de la calidad y estabilidad del producto y establecer su vida útil.

El tipo de diseño fue experimental, completamente al azar, los Tratamientos T1: Salsa probiótica con BAL y T2: Salsa control (sin BAL). Las condiciones de almacenamiento: Refrigeración (4 ± 1 °C) y/o temperatura ambiente, según el objetivo del estudio, las réplicas: Mínimo tres por tratamiento

Se eligió la materia prima, se higienizaron con jabón Axió®n®, líquido y a continuación se desinfectaron con microdyn®. A continuación, en un recipiente de acero inoxidable se sometieron a tatemado los chiles jalapeños, tomates verdes por 5 min. Los

[Capítulo 4] Estudio de vida de anaquel y calidad sensorial de salsas probióticas de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), en Las Choapas

ingredientes fueron fraccionados en una licuadora marca Oster Core negro 6832N; por 5 min. Se le adicionaron 20 mL de aceite y se continuo el fraccionado por otros 3 min, hasta que se homogenizó, sin dejar de funcionar la licuadora se adiciona 70 mL de aceite hasta que forme una mezcla, una vez completo esta técnica se prosiguió por 30 s, y se procedió al envasado del producto.

El proceso de elaboración de la salsa se realizó con base en la metodología propuesta por Ramírez et al. (2022). A partir de la formulación base presentada en la Tabla 1, se aplicaron distintos tratamientos mediante la incorporación de aceite en concentraciones de 10 %, 15 % y 25 %.

Tabla 1. *Formulación con diferentes porcentajes de aceite*

FORMULACIONES (%)				
Ingredientes	Blanco	F1	F2	F3
Chile Jalapeño (gr)	72	72	72	72
Tomate Verde (gr)	105.500	105.500	105.500	105.500
Cilantro (gr)	10.500	10.500	10.500	10.500
Ajo (gr)	1.5	1.5	1.5	1.5
Cebollín (gr)	7	7	7	7
Aceite (ml)	0	70	42	28

Fuente: Ramírez et al., 2022

Posteriormente, se realizó una evaluación sensorial con una escala hedónica de 9 puntos (Me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta moderadamente, me gusta levemente, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta levemente, me disgusta moderadamente, me disgusta mucho, me disgusta extremadamente) a 30 jueces no entrenados. Los parámetros por valorar fueron apariencia, sabor, color, olor, picor textura y aceptación general. Todos los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para la comparación múltiple de medias (Tukey, 0.05) utilizando el software estadístico MINITAB 17 (Minitab, Inc. 2010).

Figura 1. *Ficha técnica de la salsa probiótica*

Nombre: _____ fecha: _____

Instrucciones:

- Ud. Recibirá cuatro muestras de salsas de las cuales usted deberá escoger cual le gusta más de las cuatro.
- Por favor, pruebe las muestras en el orden indicado y responda cada una de las preguntas que se le presenta.
- Enjuáguese la boca con un poco de agua entre muestra y muestra.

A continuación, ingrese el código de cada una de las muestras que degustara

código: 1078 Aceptación global: ☐ Me gusta muchísimo. ☐ Me gusta mucho. ☐ Me gusta moderadamente. ☐ Me gusta un poco. ☐ Ni me gusta ni me disgusta. ☐ Me disgusta un poco. ☐ Me disgusta moderadamente. ☐ Me disgusta mucho. ☐ Me disgusta muchísimo.	código: 5325 Aceptación global: ☐ Me gusta muchísimo. ☐ Me gusta mucho. ☐ Me gusta moderadamente. ☐ Me gusta un poco. ☐ Ni me gusta ni me disgusta. ☐ Me disgusta un poco. ☐ Me disgusta moderadamente. ☐ Me disgusta mucho. ☐ Me disgusta muchísimo.	código: 0163 Aceptación global: ☐ Me gusta muchísimo. ☐ Me gusta mucho. ☐ Me gusta moderadamente. ☐ Me gusta un poco. ☐ Ni me gusta ni me disgusta. ☐ Me disgusta un poco. ☐ Me disgusta moderadamente. ☐ Me disgusta mucho. ☐ Me disgusta muchísimo.	código: 4215 Aceptación global: ☐ Me gusta muchísimo. ☐ Me gusta mucho. ☐ Me gusta moderadamente. ☐ Me gusta un poco. ☐ Ni me gusta ni me disgusta. ☐ Me disgusta un poco. ☐ Me disgusta moderadamente. ☐ Me disgusta mucho. ☐ Me disgusta muchísimo.
--	--	--	--

Fuente: Propia.

Para los parámetros fisicoquímicos, se utilizaron como límite de vida útil el valor máximo o mínimo considerado como aceptable en la NOM para salsa picante y aderezos a base de mayonesa por no encontrar una NOM específica para este tipo de producto (NMX-F-341-S-1979 y NMX-F-377-1986)

Además, se colocaron 20 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 100 mL, se adicionaron 3 gotas de la solución de fenolftaleína con un gotero y agitar. En una bureta de 25 mL titular con la solución de Hidróxido de sodio al 0.1 N. Se agregaron a la solución de hidróxido de sodio de gota en gota a la muestra abriendo la válvula de la bureta. La muestra debe de estar en agitación constante hasta que vire a un color rosado tenue, cuando se muestre la coloración se debe de cerrar la válvula, se registra los mL de hidróxido de sodio utilizados, se realizó todo por triplicado, basado en la norma NMX-F-102-S-1978.

Se calibró el potenciómetro, se colocó en un vaso de precipitado 3 mL de la muestra respectivamente, se lavó los electrodos con varias porciones de agua destilada y se sumergió los electrodos en el vaso de precipitado que contiene la muestra y se leyó directamente el valor de pH. Esto se realizó por triplicado. Guiándose con la norma NOM-F-317-S-1978.

Se colocaron 5 mL de muestra en un vidrio de reloj, se calibró el equipo de colorimetría Modelo WR10, el colorímetro Modelo WR10 se coloca sobre el lugar donde se quiere medir. El dispositivo realizó la medición, en la escala de reflectancia se determinarán los parámetros L, a y b en el sistema Hunter, este proceso se realiza 3 veces. Utilizando como referencia la norma NMX-F-116-SCFI-2012.

Para el procedimiento de viabilidad microbiana se utilizó 1g. de perlas de cada salsa, tanto de temperatura ambiente como las que se almacenaban en refrigeración. Las perlas de cada salsa se lavaron con agua estéril, se trituraron en 9 mL. de agua peptonada, a continuación, se fueron sembrando en los tubos de ensayo que contenían 9 mL. de agua estéril, y se le añadió 1 mL. de la muestra triturada como se muestra en la Figura 3. Se realizaron las diluciones y se utilizó para la siembra la dilución 7 y 8, en cada caja de Petri que contenían agar MRS Lactobacillus y se añadió 1 mL. de dichas muestras. Después se realizó el recuento de colonias por cada muestra que se sembró de las diluciones.

Resultados

a) Análisis sensorial

Tomando en cuenta los factores analizados (color, sabor y aroma) se llevó la evaluación sensorial hedónica, para determinar los que eran clave en la elaboración del proyecto. De acuerdo con los resultados arrojados (Tabla 2), no hay una diferencia significativa entre las salsas, es decir que hubo una elección pareja entre las diferentes muestras, por lo que se decidió trabajar con la formulación F3 con la cual se efectuaron dos formulaciones incorporando los probióticos y así monitorear la vida de anaquel a temperatura ambiente y una en refrigeración.

Tabla 2. Resultados de análisis sensorial

Factor	N	Media	Agrupación
F2 (4215)	30	1.033	A
F1 (5325)	30	1.000	A
F3 (1078)	30	0.933	A
Blanco (0163)	30	0.467	A

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran la evolución del pH de la salsa durante el almacenamiento a temperatura ambiente (37 °C) y refrigeración (5 °C) en los días 0, 13 y 23. Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar, y las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos y tiempos. A 37 °C se observa una disminución progresiva y significativa del pH a lo largo del tiempo, pasando de 1.33 ± 0.11^b en el día 0 a 0.53 ± 0.057^c en el día 23. La ausencia de diferencias significativas entre el día 0 y el día 13 (ambos con letra B) indica una estabilidad inicial, mientras que la disminución significativa al día 23 (letra c) sugiere una acidificación pronunciada, probablemente asociada a la actividad metabólica de las bacterias ácido-lácticas, lo que puede acelerar el deterioro sensorial y limitar la vida útil del producto bajo esta condición.

En refrigeración, el pH inicial (1.40 ± 0.100^b) aumenta significativamente al día 13 (1.90 ± 0.3^a), lo que indica una mayor estabilidad o amortiguación del sistema durante el

almacenamiento en frío. Sin embargo, al día 23 se observa una disminución significativa del pH hasta $0.30 \pm 0.00^{\circ}$, reflejando una acidificación intensa hacia el final del periodo de almacenamiento. Comparativamente, la refrigeración (5°C) permite una mejor conservación del pH durante las primeras etapas del almacenamiento en comparación con la temperatura ambiente. No obstante, al día 23, ambas condiciones presentan valores de pH muy bajos, lo que sugiere que el producto alcanza un punto crítico de acidificación, independientemente de la temperatura, lo cual podría marcar el límite de su vida de anaquel. Como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. *Determinación de acidez titulable*

	Acidez Titulable		
	Día 0	Día 13	Día 23
37°C	$4.15 \pm 0.0095^{\text{B}}$	$4.13 \pm 0.015^{\text{B}}$	$3.77 \pm 0.00^{\text{E}}$
5°C	$4.19 \pm 0.019^{\text{A}}$	$4.013 \pm 0.015^{\text{C}}$	$3.97 \pm 0.005^{\text{D}}$

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la evolución del pH de la salsa durante el almacenamiento a temperatura ambiente (37°C) y refrigeración (5°C) en los días 0, 13 y 23. Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar, y las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos y tiempos. A 37°C se observa una disminución progresiva y significativa del pH a lo largo del tiempo, pasando de $1.33 \pm 0.11^{\text{b}}$ en el día 0 a $0.53 \pm 0.057^{\circ}$ en el día 23.

La ausencia de diferencias significativas entre el día 0 y el día 13 (ambos con letra B) indica una estabilidad inicial, mientras que la disminución significativa al día 23 (letra c) sugiere una acidificación pronunciada, probablemente asociada a la actividad metabólica de las bacterias ácido-lácticas, lo que puede acelerar el deterioro sensorial y limitar la vida útil del producto bajo esta condición.

En refrigeración, el pH inicial ($1.40 \pm 0.100^{\text{b}}$) aumenta significativamente al día 13 ($1.90 \pm 0.3^{\text{a}}$), lo que indica una mayor estabilidad o amortiguación del sistema durante el almacenamiento en frío. Sin embargo, al día 23 se observa una disminución significativa del pH hasta $0.30 \pm 0.00^{\circ}$, reflejando una acidificación intensa hacia el final del periodo de almacenamiento.

Comparativamente, la refrigeración (5°C) permite una mejor conservación del pH durante las primeras etapas del almacenamiento en comparación con la temperatura ambiente. No obstante, al día 23, ambas condiciones presentan valores de pH muy bajos, lo que sugiere que el producto alcanza un punto crítico de acidificación, independientemente de la temperatura, lo cual podría marcar el límite de su vida de anaquel.

Tabla 4. *Determinación de pH*

Temperatura °C	pH		
	Día 0	Día 13	Día 23
Temperatura Ambiente. (37°)	1.33±0.11B	1.13±0.05B	0.53±0.057c
Refrigeración (5°C)	1.40±0.100B	1.90±0.3A	0.30±0.00c

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se observan los resultados que corresponden a los parámetros L* (luminosidad), a* (componente verde-rojo) y b* (componente azul-amarillo) evaluados en una salsa de chile jalapeño almacenada a 37 °C y 5 °C, durante 0, 13 y 23 días. Los valores se expresan como media ± desviación estándar y las letras iguales indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos y tiempos.

Los valores de L* se mantuvieron en un rango aproximado de 17.96 a 20.62 durante todo el periodo de almacenamiento, tanto a 37 °C como a 5 °C.

La ausencia de diferencias significativas sugiere que la luminosidad del producto no se vio afectada por el tiempo ni por la temperatura de almacenamiento, lo que indica una estabilidad visual adecuada del producto a lo largo del estudio.

Los valores de a* se mantuvieron cercanos a cero y en el rango negativo, lo que indica una predominancia del color verde, característica del chile jalapeño.

La estabilidad de este parámetro sugiere que no ocurrió una pérdida significativa de pigmentos verdes (como la clorofila), incluso después de 23 días de almacenamiento, lo cual es relevante para la aceptación sensorial del producto.

Los valores de b* fueron positivos y oscilaron entre 8.66 y 11.31, lo que indica una tendencia hacia tonalidades amarillas.

La falta de cambios significativos en este parámetro durante el almacenamiento indica que no se presentaron procesos relevantes de pardeamiento o degradación de pigmentos, contribuyendo a la estabilidad cromática del producto.

Tabla 5. *Determinación de color*

Color					
Día 0		Día 13		Día 23	
37°C		5°C		37°C	
37°C		5°C		37°C	
L	19.33±6.56 ^A	20.62±8.97 ^A	20.33±6.46 ^A	17.96±2.06 ^A	19.06±7.01 ^A
A	-1.48±2.63 ^A	-0.043±0.31 ^A	-0.63±1.71 ^A	-1.35±2.76 ^A	-1.22±1.68 ^A
B	8.94±10.89 ^A	9.41±11.72 ^A	10.39±13.55 ^A	11.31±13.87 ^A	9.24±13.30 ^A

Fuente: Elaboración propia

b) Viabilidad microbiana

La tabla 6 muestra el recuento de bacterias ácido-lácticas (BAL) expresado en UFC/mL, evaluado en dos muestras almacenadas bajo refrigeración (5 °C) y temperatura ambiente (37 °C). Los valores se presentan en notación científica, y las letras diferentes (a, b) indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre grupos.

En general, los recuentos microbianos fueron elevados en ambas condiciones, lo que indica una buena viabilidad de las BAL durante el almacenamiento. No obstante, se observa que a 37 °C los valores de UFC/mL tienden a ser menores en comparación con los obtenidos bajo refrigeración, especialmente en los recuentos más altos (10^8 UFC/mL).

Esto sugiere que la temperatura ambiente (37 °C) puede favorecer inicialmente la actividad metabólica de las BAL, pero también puede acelerar procesos de estrés celular o acidificación excesiva, reduciendo la viabilidad a largo plazo. En contraste, la refrigeración (5 °C) parece favorecer una mayor estabilidad y conservación de las poblaciones bacterianas.

Las muestras con recuentos iniciales del orden de 10^8 UFC/mL presentaron diferencias significativas (letra b) respecto a las muestras con recuentos del orden de 10^7 UFC/mL (letra a), lo que indica que la concentración inicial de BAL influye significativamente en la viabilidad durante el almacenamiento, independientemente de la temperatura.

Tabla 6. *Viabilidad microbiana*

Muestras	T.(5°) Refrigeración UFC/ML	T. Ambiental (37°) UFC/ML
1	3.0×10^7	4.0×10^{7a}
2	5.0×10^7	8.0×10^{7a}
3	5.0×10^8	6.8×10^{8b}
4	8.0×10^8	4.8×10^{8b}

Fuente: Elaboración propia

Discusión

En conjunto, los resultados del análisis sensorial muestran que todas las formulaciones evaluadas presentan un nivel de aceptación similar, lo que sugiere que el producto mantiene sus características sensoriales aceptables para el consumidor. Esto respalda la viabilidad sensorial de las salsas durante el periodo de evaluación y su potencial para su aplicación comercial.

Referente al parámetro de acidez titulable, en conjunto los resultados indican que la temperatura de almacenamiento influye significativamente en la evolución del parámetro analizado durante el tiempo. La refrigeración (5 °C) permite una mejor conservación inicial

del producto, mientras que temperaturas elevadas (37 °C) aceleran los procesos de deterioro o fermentación. Estos hallazgos son relevantes para la determinación de la vida de anaquel y para definir las condiciones óptimas de almacenamiento de salsas probióticas de chile jalapeño.

En referencia al pH, los datos indican que la temperatura de almacenamiento influye significativamente en la evolución del pH del producto. La refrigeración retrasa la acidificación durante los primeros días, mientras que el almacenamiento a 37 °C acelera los cambios físicoquímicos. Estos resultados son relevantes para definir las condiciones óptimas de almacenamiento y para establecer la vida útil de salsas probióticas de chile jalapeño.

Referente al parámetro color los resultados indican que las condiciones de almacenamiento (37 °C y 5 °C) y el tiempo de conservación hasta 23 días no influyeron significativamente en el color de la salsa de chile jalapeño. La estabilidad de los parámetros L^* , a^* y b^* sugiere que el producto mantiene sus características visuales, lo cual es un factor clave para la calidad sensorial y aceptación del consumidor durante su vida de anaquel.

En el parámetro de viabilidad microbiana los resultados indican que la temperatura de almacenamiento influye en la viabilidad de las bacterias ácido-lácticas, siendo la refrigeración (5 °C) la condición más favorable para conservar poblaciones elevadas de BAL. Asimismo, los recuentos obtenidos respaldan la viabilidad tecnológica y funcional de las salsas probióticas de chile jalapeño durante su vida de anaquel.

Conclusiones

La temperatura de almacenamiento influyó significativamente en la evolución del pH de las salsas probióticas de chile jalapeño. El almacenamiento a 37 °C aceleró la acidificación del producto, mientras que la refrigeración (5 °C) permitió una mayor estabilidad inicial, retardando los cambios físicoquímicos durante los primeros días de almacenamiento.

A pesar de las variaciones de pH observadas durante el periodo de estudio, los valores finales indican una acidificación pronunciada al día 23 bajo ambas condiciones de almacenamiento, lo que sugiere que este tiempo representa un límite crítico de la vida de anaquel del producto evaluado.

Los recuentos microbiológicos mostraron que las bacterias ácido-lácticas se mantuvieron en concentraciones superiores al umbral mínimo recomendado para productos probióticos ($\geq 10^6$ UFC/mL), confirmando la viabilidad probiótica de las salsas durante el almacenamiento, particularmente bajo condiciones de refrigeración.

El análisis de color (L , a , b^*)** evidenció que las condiciones de almacenamiento y el tiempo no generaron cambios significativos en las características cromáticas del producto, lo que indica una adecuada estabilidad visual y un impacto mínimo sobre la apariencia, factor clave para la aceptación del consumidor.

La evaluación sensorial reveló que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones analizadas, lo que sugiere que la incorporación de bacterias probióticas no afectó negativamente la aceptación sensorial del producto, manteniéndose atributos aceptables de color, aroma, sabor y textura.

En conjunto, los resultados demuestran que la refrigeración (5 °C) es la condición más adecuada para conservar la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de las salsas probióticas de chile jalapeño, contribuyendo a una mayor estabilidad y vida de anaquel.

Este estudio confirma la viabilidad tecnológica y sensorial de las salsas probióticas de chile jalapeño como un alimento funcional innovador, ofreciendo una alternativa con potencial para su desarrollo y aplicación en la industria alimentaria.

Se recomienda ampliar el periodo de almacenamiento para determinar con mayor precisión el límite máximo de vida de anaquel, incorporando análisis adicionales que permitan identificar el punto crítico en el que la calidad sensorial y la viabilidad probiótica se vean comprometidas.

Futuros estudios podrían evaluar condiciones intermedias de temperatura (por ejemplo, 8–12 °C) y fluctuaciones térmicas, simulando escenarios reales de distribución y comercialización, para determinar su impacto sobre la estabilidad del producto.

La aplicación de análisis sensorial descriptivo con panel entrenado y estudios de preferencia del consumidor permitiría profundizar en el impacto de los cambios fisicoquímicos sobre la percepción sensorial y aceptación del producto.

Futuras investigaciones podrían analizar el contenido de compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y los beneficios funcionales asociados al consumo regular de la salsa probiótica.

Finalmente, se recomienda evaluar la factibilidad de producción a escala piloto o industrial, incluyendo estudios de costos, estabilidad durante el transporte y cumplimiento normativo, para facilitar la transferencia del producto a la industria alimentaria.

Referencias

- Axelsson, L., & Ahrné, S. (2020). *Bacterias ácido-lácticas*. En Food microbiology: Fundamentals and frontiers. ASM Press.
- Bianchi, A. (2025). *Enhancing the shelf life of food products: strategies, challenges, and innovations*. *Foods*, 14(23), 4034. <https://doi.org/10.3390/foods14234034>
- Cruz, R. M. S. (2025). *Storage and shelf-life assessment of food products*. *Foods*, 14(16), 2795. <https://doi.org/10.3390/foods14162795>

- De Vuyst, L., & Leroy, F. (2020). Función de las bacterias ácido-lácticas en la fermentación de alimentos. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.003>
- Espinoza-Téllez, T., Quevedo-León, R., & Díaz-Carrasco, O. (2024). Indicator values for food shelf life prediction: a review. *Scientia Agropecuaria*, 15(3), 429–448. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.032>
- FAO. (2020). *Food loss and waste and shelf-life management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org>
- Marco, M. L., et al. (2021). Beneficios para la salud de los alimentos fermentados: Microbiota y más allá. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.10.001>
- Parada, J. L., et al. (2020). Bacterias ácido-lácticas como bioconservadores. *Food Research International*, 137, 109521. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109521>
- SGS. (2025). *Estudios de vida útil de alimentos*. SGS. <https://www.sgs.com/es-es/services/estudios-sobre-la-vida-util>
- Minitab Inc. (2010). *Minitab 16 Statistical Software* [Computer software]. Minitab Inc. <http://www.minitab.com>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1978). *NMX-F-102-S-1978. Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas*. Dirección General de Normas.
- Secretaría de Economía. (2012). *NMX-F-116-SCFI-2012. Determinación de color. Método de prueba*.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1986). *NMX-F-377-1986. Alimentos regionales. Salsa picante envasada*.
- Secretaría de Salud. (1978). *NOM-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos*.
- Ramírez, G., Gómez, J., Arzate Escamilla, G., García-Ceja, L., & Sánchez Mundo, J. (2022). *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*. Instituto Tecnológico de Orizaba.

