

Uso de inteligencia artificial generativa como apoyo en el aprendizaje basado en proyectos en estática y dinámica

*Raúl Castillo-Meraz y María M.M. Contreras-Turrubiarres**

Resumen

Este estudio analiza la integración de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) y el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en la asignatura “Estática y Dinámica” para estudiantes de primer semestre de ingeniería en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El tamaño de la muestra fue de 24 estudiantes, a lo largo de un semestre. La experiencia mostró que el uso combinado de IAG y ABP facilita un aprendizaje más activo, personalizado y colaborativo, mejorando la comprensión técnica y competencias transversales. Se observó una correlación positiva moderada entre el uso de IAG y la calidad del trabajo final, destacando la importancia de la reflexión crítica y la validación experimental. Estos hallazgos sostienen el potencial de esta sinergia para transformar la educación superior en ingeniería, fomentando habilidades técnicas y éticas adecuadas al contexto mexicano.

Palabras clave

Inteligencia Artificial ; Aprendizaje basado en proyectos ; Educación superior ; Ingeniería

Abstract

This study analyzes the integration of Generative Artificial Intelligence (GAI) and Project-Based Learning (PBL) in the subject “Statics and Dynamics” for first-semester engineering students at the Autonomous University of San Luis Potosí. The study involved a sample of 24 students over one academic semester. The experience showed that the combined use of GAI and PBL facilitates more active, personalized, and collaborative learning, improving technical understanding and cross-cutting skills. A strong positive correlation was observed between the use of GAI and the quality of the final project, highlighting the importance of critical reflection and experimental validation. These findings support the potential of this synergy to transform higher education in engineering, fostering technical and ethical skills appropriate to the Mexican context.

Key words

Artificial Intelligence ; Project-Based Learning ; Higher Education ; Engineering

* Profesor. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México (raul.castillo@uaslp.mx). ; Profesora Investigadora. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México (Maria.turrubiarres@uaslp.mx).

Introducción

LA INTEGRACIÓN de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) con el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) representa una oportunidad innovadora y transformadora para los entornos educativos en la educación superior, particularmente en la formación de ingenieros en México. La IAG, a través de herramientas avanzadas como ChatGPT, DALL-E o Copilot, proporciona a los estudiantes un acceso inmediato a recursos personalizados, generación creativa de ideas y apoyo personalizado en la resolución autónoma de problemas complejos (Rodríguez Martínez & López Gómez, 2025; Benavides-Lara *et al.*, 2025). Estos recursos no solo facilitan el aprendizaje teórico, sino que también potencian la aplicación práctica, un pilar fundamental en las carreras de ingeniería.

Mediante la implementación del ABP en conjunto con la IAG, es posible desarrollar un enfoque pedagógico integral, que permite promover el aprendizaje activo, participativo y centrado en la solución de problemas concretos y reales, logrando con ello el desarrollo de competencias y habilidades blandas, incluyendo el pensamiento crítico, la comunicación efectiva, la autonomía y el trabajo colaborativo (Vicente Rodrigo *et al.*, 2024; Vera, 2023). Mediante esta sinergia existe una mejora en la calidad del proceso formativo al introducir un aprendizaje más dinámico, adaptativo y personalizado, factores que incrementan la motivación y la participación estudiantil y que además se consideran elementos clave para el éxito académico en las ingenierías (Sánchez-Prieto *et al.*, 2025).

Centrándonos en el escenario mexicano, la integración de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en conjunto con el Aprendizaje Basado en Proyectos (abp) ha adquirido un papel destacado en el desarrollo de proyectos educativos a nivel superior. Esta metodología se presenta como una estrategia innovadora para la formación, especialmente en las carreras de ingeniería, donde la aplicación práctica y el desarrollo de habilidades blandas son fundamentales para la inserción de los egresados en el campo laboral (Flores Aguilar, 2025). Al respecto del profesorado, el uso de IAG facilita la creación de materiales didácticos adaptados a diferentes escenarios y contextos, mediante contenidos interactivos que permiten a los estudiantes experimentar con conceptos complejos, recibir retroalimentación inmediata y personalizar su proceso de aprendizaje. Con ello se responde a la creciente demanda de una educación superior más inclusiva y equitativa, que reconozca la diversidad de perfiles y estilos de aprendizaje presentes en los estudiantes (Gallent Torres *et al.*, 2023; oei, 2025).

Por otra parte, la integración metodológica y tecnológica de estas tecnologías se encuentra alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en

particular con aquellos vinculados a la educación de calidad, la innovación industrial sostenible y las alianzas para el desarrollo (Domínguez Arteaga, 2025). El uso conjunto de IAG y ABP promueve no solo una formación técnica de excelencia, sino también un compromiso ético y social en la formación de ingenieros capaces de contribuir a soluciones sostenibles y responsables frente a los retos ambientales, tecnológicos y sociales que enfrenta el país (UNESCO, 2025; Vicente Rodrigo *et al.*, 2024). Asimismo, mediante su aplicación se consiguen procesos de evaluación continua y formativa, generando en el estudiantado la capacidad de aprender tanto dentro como fuera del aula y permitiendo al profesorado atender de manera eficaz las necesidades educativas (Ruiz Reynoso *et al.*, 2025). Al introducir la IAG en el diseño instruccional, se pueden transformar las aulas de ingeniería con el fin de ofrecer una educación más flexible, accesible y significativa, y formar profesionales innovadores, críticos y comprometidos con el desarrollo sostenible del país (Salmerón, 2025; Acevedo Carrillo *et al.*, 2025).

Finalmente, la integración de IAG y ABP contribuye a una evaluación continua y formativa, donde los docentes pueden monitorear en tiempo real el progreso de cada estudiante, identificando lagunas de conocimiento y proporcionando intervenciones oportunas y personalizadas (Vicente Rodrigo *et al.*, 2024). Mediante esta modalidad de evaluación se fomenta la responsabilidad del alumno sobre su propio aprendizaje y la mejora constante, dando pie a la formación de profesionales competentes y críticos, capaces de responder a los retos del mercado laboral mexicano en sectores tecnológicos y de alta innovación (Salmerón, 2025; Acevedo Carrillo *et al.*, 2025).

La adopción de estas tecnologías y metodologías también responde a las actuales necesidades del entorno educativo mexicano, aunado al crecimiento acelerado en el uso de la inteligencia artificial, que se refleja en la creciente demanda en carreras de ciencia de datos, aprendizaje automático e innovación tecnológica, lo que a su vez requiere actualización en los conocimientos técnicos de los egresados de ingeniería (UNESCO, 2025; Benavides-Lara *et al.*, 2025). Sin embargo, no es suficiente con transmitir conocimientos teóricos, sino que se debe permear al estudiantado para que la implementación de estas nuevas tecnologías se realice de manera responsable, atendiendo desafíos como la privacidad de datos, equidad digital y la capacitación continua del profesorado (Gallent Torres *et al.*, 2023; Vicente Rodrigo *et al.*, 2024). En la literatura existen trabajos que evidencian la manera en que la IAG puede aportar a la formación de los ingenieros, incluyendo el aprendizaje personalizado e inclusivo (Zambrana Copaja *et al.*, 2025), su uso para la generación de actividades didácticas (Roque Rodríguez & Roque Ramos, 2025) y la programación (Vera Paredes *et al.*, 2025).

En este contexto, este trabajo presenta una contribución significativa al explorar y documentar una experiencia didáctica innovadora en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, que evidencia el potencial de la IAG y el ABP para enriquecer los procesos de enseñanza-aprendizaje y promover una formación integral del alumnado de ingeniería. Mediante la aportación de elementos prácticos y reflexivos, puede considerarse un punto de partida para otras instituciones educativas interesadas en incorporar estas tecnologías y metodologías transformadoras en cualquier nivel educativo y asignatura curricular.

Metodología

El presente estudio se enmarca en un diseño metodológico que combina principios de la investigación educativa con enfoques prácticos y colaborativos, orientados a la formación de estudiantes de ingeniería en educación superior. La investigación aplicada en contextos didácticos requiere un enfoque que integre tanto la generación de conocimiento como la intervención efectiva en procesos formativos, privilegiando la participación del estudiantado y la colaboración multidisciplinaria (González Rivera, 2024; Vicente Rodrigo *et al.*, 2024). Este enfoque permite no solo la transferencia de saberes técnicos, sino también el desarrollo de habilidades socioemocionales y metacognitivas, aspectos cada vez más valorados en la educación contemporánea (García-Peñalvo y Seoane-Pardo, 2020).

Esta investigación se apoyó en metodologías activas de aprendizaje, en particular el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), que fomenta la integración práctica y teórica a través del trabajo colaborativo y la solución de problemas reales (Gallent Torres *et al.*, 2023; Sánchez-Prieto *et al.*, 2025). En el contexto actual, donde la educación enfrenta desafíos como la globalización y la rápida innovación tecnológica, el ABP sustenta el desarrollo de competencias transversales que van más allá del conocimiento factual, promoviendo la adaptabilidad, el pensamiento crítico y la autonomía en el aprendizaje (Fernández-Pérez *et al.*, 2022). Además, la incorporación de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) representa una oportunidad para transformar la manera en que se diseñan y gestionan las actividades académicas (Rodríguez Martínez & López Gómez, 2025; UNESCO, 2025). Estas herramientas permiten una personalización del aprendizaje que atiende a diferentes estilos cognitivos y ritmos individuales, además de facilitar la simulación de escenarios complejos que enriquecen el proceso formativo (López y Jiménez, 2021; Martínez *et al.*, 2024).

El proyecto que da origen a este trabajo se desarrolló durante el semestre enero-junio de 2025, siendo parte integral de la evaluación final para un grupo mixto de estudiantes de primer semestre inscritos en diversas ingenierías. El grupo total estaba conformado por 24 alumnos, distribuidos según su carrera como sigue

- 8 estudiantes de Licenciatura en Biofísica
- 5 estudiantes de Licenciatura en Biología
- 4 estudiantes de Ingeniería Electrónica
- 3 estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones
- 4 estudiantes de Ingeniería Biomédica

El trabajo final tuvo como objetivo principal el diseño y desarrollo de un dispositivo tecnológico consistente en un Dinamómetro Digital, dicho prototipo combinaba conocimientos de física, electrónica y programación. Para ello, se implementó un enfoque colaborativo donde los estudiantes se organizaron en tres equipos de trabajo específicos con funciones diferenciadas:

- Equipo 1: Investigación y análisis de los principios físicos de funcionamiento del dinamómetro, relacionándolos con las Leyes de Newton y conceptos fundamentales de mecánica.
- Equipo 2: Diseño y construcción del prototipo funcional del Dinamómetro Digital mediante la plataforma Arduino, aplicando herramientas de programación, electrónica y control.
- Equipo 3: Producción, edición y difusión audiovisual de un video corto que documentará el proceso y resultados, utilizando redes sociales como medio para compartir el proyecto.

Como norma pedagógica, cada equipo debía hacer uso estratégico de herramientas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG), como ChatGPT, Gemini o Copilot para apoyar las distintas fases de su trabajo, desde la búsqueda y generación de información hasta la creación de contenidos técnicos y multimedia. Se fomentó, además, la comunicación y coordinación constante entre equipos, con el fin de promover un aprendizaje colaborativo, interdisciplinario y multidisciplinario, aspectos reconocidos como fundamentales para la formación integral en ingeniería (Vera,2023; González Rivera, 2024).

Previo al desarrollo del proyecto, se aplicó una encuesta diagnóstica a los estudiantes con el propósito de evaluar su conocimiento previo sobre inteligencia artificial (IA) y su experiencia en el uso de herramientas de inteligencia artificial generativa.

La encuesta permitió identificar el grado de familiaridad de los estudiantes con tecnologías como ChatGPT, Copilot y otros sistemas similares, así como los contextos específicos en los que habían utilizado estas herramientas, tales como apoyo en tareas, generación de código, resolución de dudas conceptuales o elaboración de materiales académicos (Vicente Rodrigo *et al.*, 2024; Rodríguez Martínez & López Gómez, 2025).

Este diagnóstico fue diseñado y administrado digitalmente para facilitar la recolección y análisis eficiente de los datos, siguiendo protocolos seguros de aplicación y procesamiento estadístico que garantizan la validez y confiabilidad de la información recopilada (Chura-Quispe *et al.*, 2024; Dotta & Oliver, 2024). El análisis de los resultados permitió no solo identificar los niveles de conocimiento y experiencia de los estudiantes, sino también sus actitudes y percepciones sobre el uso ético y funcional de la IA en la educación superior, aspectos cruciales para orientar la integración pedagógica de estas tecnologías (Blanc Pihuave & Gil Mateos, 2025; Miranda Gavilán & Encalada Segovia, 2025).

Además, la encuesta facilitó la identificación de brechas formativas y necesidades particulares, lo cual fue sustancial para diseñar estrategias didácticas personalizadas y acompañamiento efectivo durante el proyecto. Este enfoque diagnóstico se alinea con buenas prácticas contemporáneas en el estudio del impacto y aplicación de IA en entornos educativos, permitiendo una adaptación continua de los recursos y actividades para maximizar el aprendizaje autónomo y colaborativo (Parra-Sánchez, 2022; Ibarra Martínez *et al.*, 2023).

La evaluación se diseñó siguiendo criterios rigurosos y específicos para cada equipo, aplicando rúbricas individuales que contemplaron la calidad técnica, la aplicación conceptual, la innovación y la colaboración. A su vez, el proyecto global fue evaluado mediante una rúbrica general que ponderó indicadores de integración, coherencia y valor formativo del trabajo grupal. Al utilizar una doble vertiente en el proceso de evaluación se buscó promover tanto la responsabilidad individual como el compromiso grupal, alineándose con modelos actuales de evaluación formativa y continua que privilegian el aprendizaje activo (Vicente Rodrigo *et al.*, 2024; Camacho-Navarro & Contreras Turrubiartes, 2026).

El enfoque metodológico adoptado en este estudio responde a una perspectiva constructivista y sociocultural del aprendizaje, donde el aprendizaje se produce en contextos colaborativos, mediado por tecnologías avanzadas, y orientado a la solución de problemas reales y contextualizados en el ámbito profesional de la ingeniería (González Rivera, 2024; Sánchez-Prieto *et al.*, 2025). Mediante esta aproximación se permite evaluar no solo resultados técnicos, sino también competencias transversales como la comunicación, la gestión de proyectos, el trabajo en equipo, y el pensamiento crítico y creativo.

Resultados y Discusiones

El cuestionario inicial refleja que 40% del grupo había usado previamente IAG en actividades académicas mientras que aproximadamente el 60% no tenía experiencia previa. Los resultados descritos en esta sección integran tanto datos cuantitativos (respuestas de la encuesta y de cuestionarios aplicados a equipos) como evidencias cualitativas recogidas mediante entrevistas breves y observación de los participantes durante el semestre. Se presentan métricas sobre el uso de IAG por equipo, el aporte de la IAG en tareas específicas, problemas frecuentes detectados, percepción sobre eficiencia y aprendizaje, así como indicadores de colaboración y evaluación.

La siguiente Tabla resume el resultado del sondeo inicial aplicado a los 24 estudiantes respecto a su experiencia previa con IAG y el propósito de uso. Estos datos sirven como línea base para interpretar cambios y percepciones posteriores al proyecto.

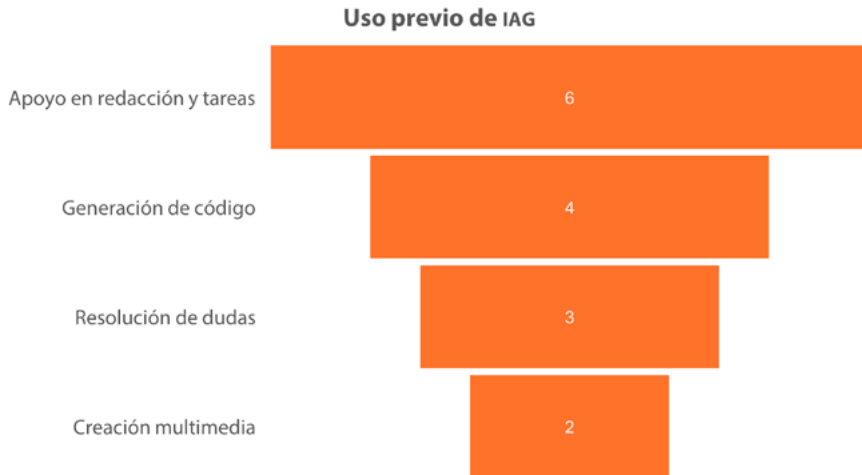
Tabla 1. Uso previo de IAG entre los 24 estudiantes (sondeo diagnóstico)

Uso Previo de IAG	Cantidad
Usaron IAG Previamente	10
No Usaron IAG Previamente	14

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos anteriores menos del 50% de los estudiantes reportó uso previo de Inteligencia Artificial Generativa. Estos resultados iniciales reflejan una brecha importante en la familiaridad de los estudiantes con tecnologías emergentes como la IAG, lo cual demuestra la necesidad de programas formativos específicos que integren en su currículo la alfabetización digital y el manejo crítico de estas herramientas desde los primeros cursos de formación universitaria. También es importante considerar que la adopción y el uso efectivo de IAG pueden verse limitados si no se brindan oportunidades estructuradas que permitan que el estudiantado desarrolle las competencias digitales y habilidades de búsqueda, evaluación y generación responsable de contenido asistido por IA. Así mismo, el desconocimiento previo de la tecnología puede impactar en la confianza y disposición para incorporarla en la implementación de aprendizaje centrado en el estudiante y el desarrollo de proyectos complejos, como el que se realizó en este estudio. Al respecto, de los 10 estudiantes que indicaron el uso previo de la IAG, se solicitó que seleccionaran de un listado las operaciones para las cuales habían utilizado la herramienta, en esta sección se podía seleccionar más de 1 respuesta, obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Principales usos de la Inteligencia Artificial Generativa previos al estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar el uso más común es el apoyo para la elaboración de tareas y la redacción de textos, mientras el número de usos para tareas más complejas va disminuyendo, siendo el menos utilizado la creación de material multimedia. Por otro lado, la diversidad de propósitos para los cuales se utilizó la IAG antes del proyecto, desde apoyo en redacción hasta generación de código, sugiere que los estudiantes ya reconocen diferentes potencialidades prácticas de estas herramientas. Esto constituye un punto de partida valioso para diseñar estrategias pedagógicas integradas que potencien dichos usos y fomenten una reflexión crítica sobre sus limitaciones y aspectos éticos. Asimismo, al combinar ese conocimiento inicial con actividades estructuradas de aprendizaje basado en proyectos, es posible promover un uso más profundo, consciente y eficiente de la IAG, contribuyendo no solo a la mejora del desempeño académico sino también a la formación de competencias transversales indispensables para la ingeniería en la era digital.

Posterior a la elaboración del dinamómetro cada equipo realizó el llenado de un cuestionario estructurado que incluyó preguntas cerradas y abiertas sobre: herramientas empleadas, proporción de trabajo apoyada por IAG, tareas en las que se apoyaron, evaluación de utilidad, errores detectados y grado de autonomía alcanzado. La Tabla 2 resume las respuestas cuantitativas más relevantes por equipo.

Tabla 2. Resumen de uso de la IAG durante el proyecto por equipos.

	¿Utilizó IAG en su trabajo?	¿Qué IAG utilizó?	Porcentaje aproximado del trabajo asistido por IAG (auto-reporte)	¿Considera que la IAG hizo más sencillo su trabajo?	Frecuencia de corrección posterior a la sugerencia de la IAG
Equipo 1	Sí	ChatGPT	50%	Sí	30%
Equipo 2	Sí	ChatGPT, IA Flux (o equivalente de asistencia para código)	70%	Sí	40%
Equipo 3	Sí	Gemini	50%	Sí	35%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estos datos, se observa que todos los equipos hicieron uso activo de herramientas de inteligencia artificial generativa a lo largo del desarrollo del proyecto, con una proporción mínima reportada de 50% en los equipos 1 y 3, y un uso más intensivo del 70% en el equipo 2, que se encargó principalmente de la implementación técnica del prototipo. Esta variabilidad en la intensidad del uso refleja el diferente tipo de tareas encomendadas, algunas más dependientes de la generación de código y la resolución técnica donde la IAG contribuyó de forma sustancial.

Es relevante destacar que, de forma unánime, los integrantes de todos los equipos coincidieron en reconocer que la utilización de la IAG facilitó y simplificó las tareas asignadas, evidenciando un impacto positivo en la eficiencia del trabajo. Sin embargo, la presencia de correcciones en un rango entre el 30% y 40% indica que los estudiantes adoptaron un enfoque crítico y reflexivo respecto a las respuestas y propuestas generadas por la IA, realizando ajustes necesarios para garantizar la calidad y precisión del producto final. Este comportamiento confirma que la IAG no fue un recurso usado de manera pasiva, sino como un apoyo que incentiva la supervisión activa, el análisis y la mejora continua.

Estos hallazgos sugieren que la integración de la IAG en proyectos colaborativos puede promover no solo la eficiencia técnica, sino también fomentar competencias transversales esenciales en la educación superior, tales como la capacidad de revisión crítica, la comunicación efectiva dentro de equipos multidisciplinarios y el aprendizaje autónomo (Vicente Rodrigo *et al.*, 2024; Vera, 2023). Asimismo, el uso conjunto y coordinado de la IAG en contextos grupales favorece la sinergia colaborativa, en donde los estudiantes dialogan y contrastan las propuestas automatizadas con su propio conocimiento para construir soluciones optimizadas.

Como desafío señalado de forma transversal, los errores o imprecisiones detectados en las salidas de la IAG ponen de relieve la importancia de fortalecer en el

alumnado habilidades de validación, evaluación ética y manejo crítico de tecnologías de inteligencia artificial, evitando un exceso de confianza en las sugerencias y garantizando resultados confiables (Acevedo Carrillo *et al.*, 2025; Rodríguez Martínez & López Gómez, 2025). Por lo tanto, el acompañamiento pedagógico del profesorado y la capacitación específica en formulación de preguntas (*prompts*) eficaces para estas herramientas resultan indispensables para maximizar los beneficios de la IAG en la formación universitaria.

A continuación, se presenta el análisis detallado de las actividades para las cuales fue utilizada la IAG por cada uno de los equipos, estos resultados se obtuvieron de los cuestionarios aplicados a los estudiantes:

a) Investigación conceptual y presentación (Equipo 1)

- Uso: generación de texto para diapositivas, resúmenes y esquema de explicación de principios físicos.
- Beneficio observado: reducción del tiempo de búsqueda bibliográfica y ayuda en la estructuración de la presentación. Reportaron que la IAG facilitó la identificación de ejemplos aplicados y la formulación de explicaciones por niveles.
- Problemas detectados: respuestas con inconsistencias menores en definiciones y problemas de redacción que exigieron revisión crítica; ocasional inclusión de afirmaciones poco referenciadas (verificación bibliográfica necesaria).
- Indicadores cuantitativos: 50% del contenido de la presentación fue inicialmente generado o esbozado por IAG; de ese 50%, el 30% requirió edición manual.

b) Desarrollo del prototipo y programación (Equipo 2)

- Uso: ayuda en la redacción de código Arduino, recomendaciones de diseño de circuito, selección de componentes y orientación sobre parámetros de sensores (celdas de carga), e identificación de proveedores para componentes.
- Beneficio observado: aceleración sustancial en la producción de código funcional y en iteraciones de prototipo; facilitó la traducción de especificaciones físicas a estructuras de código y configuración de librerías.
- Problemas detectados: en algunos casos la IAG sugirió conexiones o valores de componentes que debieron ajustarse empíricamente; se reportaron errores en esquemas de circuito propuestos por la IAG que requirieron corrección por parte de estudiantes con experiencia electrónica.

- Indicadores cuantitativos: 70% del desarrollo del prototipo apoyado por IAG; 40% de las salidas técnicas propuestas por la IAG requirieron verificación/pruebas y corrección en hardware o código.
- c) Producción y edición audiovisual (Equipo 3)
- Uso: propuesta de guion, generación de efectos y sugerencias de edición, instrucciones para exportación y optimización para redes.
 - Beneficio observado: mejora en la eficiencia de edición y en la generación de recursos (por ejemplo, textos para subtítulos y secuencias de narración).
 - Problemas detectados: las recomendaciones sobre efectos no siempre coincidieron con las expectativas estéticas; se requirieron varias iteraciones.
 - Indicadores cuantitativos: 50% del guion y tareas de edición fueron apoyadas por IAG; 35% de las salidas requirieron ajustes creativos adicionales.

En base a las actividades y productos entregados por cada uno de los equipos se calculó un índice compuesto de percepción (en una escala de 1 a 5, siendo 1 el valor más bajo y 5 el más alto) promedio por equipo sobre tres dimensiones: eficiencia (tiempo/entrega), calidad técnica del producto final y desarrollo de competencias transversales (comunicación, trabajo en equipo, autonomía). Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Promedio de evaluación formativa obtenida por equipos, escala de 1 a 5.

Dimensión	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
Eficiencia	4	4.3	4.1
Calidad Técnica	3.8	4	3.7
Competencias Transversales	3.9	4.2	4

Fuente: elaboración propia.

De manera general el equipo 2 obtuvo los promedios más altos en las 3 dimensiones, sin embargo, hay que recordar que a cada uno de los equipos les fueron asignadas diferentes actividades, por lo que no podría considerarse este valor como un representativo. Por otra parte, el porcentaje de trabajo realizado con uso de la IAG más alto también fue reportado por el equipo 2, que también presenta el porcentaje de correcciones/modificaciones posteriores a la sugerencia más alto. Si estos valores se contrastan con los obtenidos por el equipo 1, que presenta los promedios más bajos y el porcentaje más pequeño de corrección respecto a las sugerencias de IAG,

podría decirse que, a mayor uso, y mayor reflexión sobre las sugerencias, la calidad, eficiencia, y competencias transversales se promueven de una mejor manera. A partir de preguntas abiertas a cada equipo y del análisis de las correcciones realizadas individualmente, se identificaron patrones recurrentes:

Problemas de redacción y solicitud: todos los equipos reportaron errores al formular consultas a la IAG (mala redacción de *prompts*) lo que conduce a respuestas incompletas, ambiguas o incorrectas. Este problema fue identificado como el más común y recurrente.

Verificación técnica: Al momento de aplicar la IAG para las actividades relacionadas con tareas de hardware y electrónica, las sugerencias automáticas requirieron verificación experimental, esta verificación demostró que existe dependencia en la interpretación literal de instrucciones que no siempre eran aplicables en el contexto real de prototipado, por lo cual hubo necesidad de realizar la corrección y/o la “traducción” al lenguaje adecuado por parte de los integrantes del equipo antes de poder llevar a cabo la propuesta de instrucciones de manera experimental.

Sesgo de confianza: Algunos estudiantes reportaron que al existir poca o nula experiencia previa con el uso de IAG, durante sus primeros usos mostraron sobre confianza en las soluciones propuestas por la IAG, lo que en ciertos momentos condujo a pérdida de tiempo en pruebas con soluciones no viables, con base en las experiencias y el trabajo en equipo se dieron cuenta de que era necesario realizar una revisión crítica para garantizar la fiabilidad de las respuestas generadas electrónicamente.

Habilidades duras vs. blandas: En cuanto a la respuesta de aplicación, los resultados sugieren que el uso de la IAG aceleró tareas técnicas y administrativas, pero dejó en evidencia la necesidad de reforzar competencias de pensamiento crítico, validación experimental, comprensión lectora y habilidad de redacción especializada.

Al respecto de la evaluación global, la rúbrica utilizada consideró criterios técnicos, integridad del prototipo, calidad de presentación y evidencia de trabajo colaborativo. Los valores obtenidos por equipo en una escala de 0-100 se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Calificación final obtenida por equipo de acuerdo con la rúbrica, escala 0-100.

Equipo	Calificación Final
Equipo 1	82
Equipo 2	88
Equipo 3	80

Fuente: Elaboración propia.

El equipo 2 obtuvo la calificación más alta, lo cual se relaciona directamente con el promedio obtenido en las dimensiones de percepción, y el uso de IA para el desarrollo de las actividades asignadas, incluyendo la funcionalidad del prototipo y la integración técnica, en la cual la IA fue intensamente utilizada. Sin embargo, la diferencia con los demás equipos no fue exclusivamente atribuible al uso de IA, sino también a la distribución de habilidades previas entre sus integrantes, debido a que la mayoría de ellos ya tenían conocimientos previos del diseño de *prompts* además de habilidades de programación y electricidad.

Continuando con el análisis cualitativo de los resultados, es importante mencionar los siguientes puntos:

Al término del proyecto, la mayoría de los estudiantes reportaron una mejora en la comprensión y el uso de la IA, incluyendo la elaboración de *prompts* de mejor calidad y la reflexión crítica de las sugerencias obtenidas a partir de los mismos.

El ABP contribuyó significativamente a mejorar la comunicación en el grupo, ya que al enfrentarse a un escenario “real” con varios equipos trabajando al mismo tiempo por un proyecto en común se vieron en la necesidad de coordinar sus espacios, tiempos y actividades a fin de cumplir en tiempo y forma con el entregable final.

Los estudiantes sugieren que se lleve a cabo una capacitación sobre diseño de *prompts*, herramientas de IA y cuestiones éticas relacionadas con el uso de ella en contextos de ingeniería.

Para cuantificar los resultados de la investigación se optó por calcular los coeficientes de correlación mediante el método de Spearman, considerando que el tamaño de muestra es pequeño ($n=3$) y que las variables son ordinales, además del alcance exploratorio de la investigación. Para obtener el coeficiente de correlación calificación-uso de IA se asignaron los rangos que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Variables utilizadas para el análisis de correlación calificación-uso de IA

Rango Asignado	Calificación Final	Rango Asignado	Porcentaje de uso de IA
1	80	1.5	50%
2	82	1.5	50%
3	88	3	70%

Fuente: Elaboración propia, Nota: El rango de 1.5 (intermedio) se repite debido a que los porcentajes de uso tienen el mismo valor.

Posteriormente se calcularon los valores de diferencias en los rangos para cada equipo, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Rangos y diferencias para el coeficiente de Spearman

Equipo	Rango de uso IA (Rx)	Rango de Calificación (Ry)	d= Rx-Ry	d ²
Equipo 1	1.5	2	-0.5	0.25
Equipo 2	3	3	0	0
Equipo 3	1.5	1	0.5	0.25

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, la suma de las diferencias de los cuadrados se calcula a partir de la ecuación $\sum d^2 = 0.25 + 0 + 0.25 = 0.50$. Una vez que se tienen estos valores, se sustituyen en la fórmula de Spearman, $\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$ donde $n=3$, obtenemos $\rho = 1 - \frac{6(0.5)}{3(9-1)}$ concluyendo que el factor de correlación entre las variables de uso de IAG y calificación obtenida es igual a $\rho = -0.875$. El procedimiento anteriormente descrito se repite para la obtención de la correlación existente entre el porcentaje de correlación de la IAG y la calificación obtenida. Para ello, se utilizan las variables correspondientes y se asignan los rangos de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7. Variables utilizadas para el análisis de correlación calificación-corrección de IA

Rango Asignado	Calificación Final	Porcentaje de corrección de la instrucción para la IA
1	80	30%
2	82	35%
3	88	40%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se obtuvieron los valores de diferencias en los rangos para cada equipo, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Rangos y diferencias para el coeficiente de Spearman

Equipo	Rango de correcciones (Rx)	Rango de Calificación (Ry)	d= Rx-Ry	d ²
Equipo 1	1	2	-1	1
Equipo 2	3	3	0	0
Equipo 3	2	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

De tal forma que $\sum d^2 = 1 + 0 + 1 = 2$. Tomando como base este resultado y aplicando a la fórmula de Spearman $\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$ donde $n=3$, obtenemos $\rho = 1 - \frac{6}{3(9-1)}$ concluyendo que el factor de correlación entre las salidas de la IAG y la calificación obtenida por cada equipo es $\rho = -0.5$.

A partir de los cálculos anteriores, podemos mencionar lo siguiente:

- La correlación existente entre el porcentaje de uso de la IAG y la nota final obtenida es $\rho = 0.875$ lo que indica una correlación positiva fuerte, demostrando una tendencia a obtener una mejor calificación final a mayor uso de la IAG. Sin embargo, es importante mencionar que esta tendencia no es absoluta, existen algunos otros factores que influyen en la calidad de los entregables, incluyendo las habilidades previas de los estudiantes, la afinidad para trabajar en equipo, la capacidad de reflexión individual y grupal, etc.
- La correlación existente entre la frecuencia de corrección de las sugerencias de la IAG y la evaluación final tiene un valor de $\rho = -0.5$, es decir, moderadamente negativa, esto indica que mientras mayor fue el número de correcciones que se hicieron a las sugerencias de IAG (considerando el porcentaje absoluto de corrección/uso para cada equipo) menor fue la calificación obtenida. Esto puede relacionarse con diferentes factores, en primer lugar, al dedicar más tiempo a las correcciones de las respuestas, instrucciones o códigos generados virtualmente, es posible que los estudiantes se hayan enfrentado a una mayor cantidad de dificultades, lo que pudo afectar la calidad del producto final y por ende la evaluación obtenida. En este sentido, se evidencia la necesidad no solamente de trabajar con una actitud crítica y reflexiva cuando se utiliza IAG, sino también de la capacidad y habilidades necesarias en el estudiantado para poder realizar correcciones pertinentes y justificadas, así como la escritura y edición adecuada de tal forma que se vean reflejadas en un entregable sólido y confiable.

La inteligencia artificial generativa (IAG) tiene un gran potencial para transformar los procesos educativos, otorgando nuevas oportunidades para la personalización y el aprendizaje activo. Sin embargo, el análisis del uso de IAG en la asignatura “Estática y Dinámica” para estudiantes de ingeniería revela un reto fundamental: las desigualdades tecnológicas y las brechas de acceso pueden limitar la inclusión real de esta tecnología en la educación superior pública. La dependencia de acceso a herramientas digitales avanzadas, infraestructura tecnológica y competencias previas

en programación y manejo de IA representa una barrera para muchos estudiantes, especialmente en contextos donde las condiciones socioeconómicas y tecnológicas son heterogéneas. En la Tabla 9 se enumeran algunos de los *prompts* utilizados por cada uno de los equipos, para ejemplificar el avance en el dominio de la IA se seleccionaron aquellos donde se realizaron correcciones a la primera instrucción.

Tabla 9. Ejemplo de uso de *prompts*

Equipo	Ejemplo de <i>prompt</i> previo a corrección	Instrucción corregida
Equipo 1	<i>"Quiero una presentación del proyecto que este bien explicada"</i>	<i>Actúa como un profesor universitario de física, dame una presentación detallada del proyecto con 10 diapositivas, está dirigida a estudiantes de licenciatura"</i>
Equipo 2	<i>"Dame el código para una celda con Arduino y explícame como conectarlo"</i>	<i>"Genera el código completo para un dinamómetro digital usando Arduino uno y un modulo HX711 en lenguaje C++, hazlo como si fueras un ingeniero de sistemas"</i>
Equipo 3	<i>"Dame un guion para un video divertido del proyecto que se vea bien en redes sociales"</i>	<i>Actúa como un director creativo de redes sociales, arma a detalle un guion técnico para un video de 60 segundos en formato vertical para Tik Tok en el cual se hable de nuestro prototipo, incluye la sugerencia de tono de voz e imágenes"</i>

Fuente: Elaboración propia.

El estudio muestra que, aunque todos los equipos usaron IAG, el grado de aprovechamiento fue heterogéneo y estuvo influenciado por el conocimiento previo en diseño de *prompts* y habilidades técnicas, lo que favoreció a aquellos que habían estado en contacto con estas herramientas anteriormente. Este hallazgo evidencia que la IA, de no ser gestionada adecuadamente, puede reproducir y amplificar exclusiones estructurales, otorgando ventajas a quienes ya cuentan con recursos y competencias para su uso eficiente, mientras que otros grupos podrían quedar en desventaja, lo que se puede traducir en un aumento directo de la brecha digital.

Por ello, las universidades públicas deben pensar en estrategias integrales que contrarresten estas brechas, fomentando el acceso equitativo desde varios frentes: dotación de infraestructura tecnológica adecuada, capacitación específica en habilidades digitales y en el uso crítico y ético de la IA, y desarrollo de recursos pedagógicos inclusivos para que el uso de la IA no dependa únicamente de habilidades técnicas previas. Además, es imprescindible promover acompañamiento pedagógico constante para fortalecer en los estudiantes la capacidad de validar y evaluar críticamente las salidas de las herramientas de IA, evitando el exceso de confianza en estas herramientas tecnológicas y garantizando resultados confiables.

Conclusiones

El uso de la inteligencia artificial generativa puede ser una herramienta aplicable en diferentes contextos en el campo de la educación. Su aplicación permite abordar una serie de escenarios diversos contribuyendo al aprendizaje de los estudiantes y a la mejora en su desempeño académico. No obstante, se requiere que los estudiantes cuenten con un antecedente en el uso de estas tecnologías, así como una orientación adecuada por parte del docente, en este sentido, se detectó la necesidad de impartición de cursos o capacitaciones introductorias de IA como una ventana de oportunidad para estudiantes de nivel superior.

Por otra parte, en el presente trabajo se demuestra que el uso de IAG no es excluyente, es decir, se puede combinar con metodologías preexistentes en la enseñanza, como el aprendizaje basado en proyectos, contribuyendo de esta manera a una formación integral que permita el desarrollo de procesos de enseñanza-aprendizaje interseccional y la recreación de escenarios reales que contribuyan a la formación de los egresados. Así mismo, el uso de este tipo de tecnologías no necesariamente es individual, sino que puede darse mediante un trabajo colaborativo. En contraste, debe entenderse a la IAG únicamente como una herramienta, que como se ha evidenciado a lo largo de este proyecto, no reemplaza las tareas de los estudiantes, quienes deben utilizarla de forma reflexiva y crítica, de tal manera que sean capaces de identificar posibles errores y sesgos en el contenido generado de manera virtual, así como entender, evaluar, corregir y complementar la información que proporciona la herramienta. Además, este trabajo pone de manifiesto la importancia de desarrollar en los estudiantes competencias digitales y críticas que les permitan hacer un uso efectivo y ético de la inteligencia artificial generativa. Estos resultados coinciden con estudios previos, como el de Almaraz Rodríguez *et al.* (2025), donde mencionan la importancia de promover la formación dentro de las instituciones para garantizar un uso crítico y ético. Por otra parte, Carranza *et al.* (2024) reafirman la preocupación sobre el uso limitado de la IAG en educación.

La capacitación docente en el manejo y aplicación pedagógica de estas herramientas resulta igualmente fundamental para potenciar su impacto positivo en el aprendizaje. La integración responsable de la IAG con metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos propicia un entorno educativo más flexible, personalizado y centrado en el desarrollo de habilidades transversales, tales como la colaboración, la solución de problemas complejos y la comunicación efectiva. De esta forma, la IAG no solo actúa como un facilitador tecnológico, sino como un catalizador que impulsa una educación superior innovadora y alineada con las demandas del siglo XXI, siempre bajo un marco ético que salvaguarde la calidad

educativa y la equidad en el acceso a las tecnologías.

La inteligencia artificial en la educación superior tiene el potencial de enriquecer los procesos de aprendizaje, pero su apropiación debe ser inclusiva y crítica para evitar ampliar las desigualdades existentes, como menciona Chao-Rebolledo y Rivera-Navarro (2024 es pertinente generar información que ayude a entender cómo se aplican estas tecnologías en la educación superior.

El acceso desigual a tecnologías y competencias digitales puede llevar a que la IA reproduzca exclusiones estructurales, favoreciendo a quienes ya cuentan con mejores condiciones previas (Camacho-Navarro *et al.*, 2026). En este sentido, las universidades públicas enfrentan el desafío de implementar estrategias que reduzcan estas brechas tecnológicas, mediante inversión en infraestructura accesible, formación continua en diseño de *prompts* y competencias digitales, y el acompañamiento pedagógico necesario para un uso ético y reflexivo de la IA. Solo así podrá la inteligencia artificial actuar como un verdadero catalizador de oportunidades educativas para todos los estudiantes, independientemente de su contexto socioeconómico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los estudiantes involucrados en este proyecto, así mismo al financiamiento recibido a través del proyecto IH-2025-I83 de la SECIHTI.

Referencias

- Acevedo Carrillo, M., Cabezas Torres, N., La Serna La Rosa, P., & Araujo Rossel, S. (2025). *Desafíos y oportunidades de la inteligencia artificial en la educación superior latinoamericana: una revisión sistemática de la literatura*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15508755>
- Almaraz Rodríguez, O., Hernández Jácquez, L., Falcón Rentería, E., Bayona Enriquez, J., Treviño Maese, O., & Andrade Reyes, O. (2025). Percepción sobre el uso de la inteligencia artificial generativa en las instituciones de educación superior del Estado de Durango, México. *Revista RedCA*, 106-121. Consultado de <https://revistaredca.uaemex.mx/article/view/27146>
- Benavides-Lara, M., Rendón Cazales, V., Escalante Rivas, N., del Pilar Martínez Hernández, A., y Sánchez Mendiola, M. (2025). Presencia y uso de la inteligencia artificial generativa en la Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista Digital Universitaria*, 26(1), 1-16. <https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2025.26.1.10>
- Blanc Pihuave, G., & Gil Mateos, J. (2025). Percepciones de estudiantes universitarios sobre el uso de la Inteligencia Artificial y su relación con el aprendizaje autónomo. *Revista Cubana De Educación Superior*, 44(3), 1–11. Recuperado a partir de <https://revistas.uh.cu/rces/article/view/11604>
- Camacho-Navarro, A. & Contreras Turrubiartes, M. (2026). *Horizontes de la evaluación. Enfoques auténticos y experiencias STEAM en la educación contemporánea*. Editorial Transdigital. <https://doi.org/10.56162/transdigitalb63>
- Camacho-Navarro, A., Villaseñor Zúñiga, M. L., Contreras Turrubiartes, M., & Enríquez Grimaldo, T. (2026). Brecha digital de género en estudiantes universitarias mexicanas: análisis de acceso, uso y apropiación de las tecnologías de la información y la comunicación. *Revista Tecnología, Ciencia Y Educación*, (33), 92–118. <https://doi.org/10.51302/tce.2026.24469>
- Carranza Alcántar, M., Macías González, G., Gómez Rodríguez, H., Jiménez Padilla, A., Jacobo Montes, F. (2024). Percepciones docentes sobre la integración de aplicaciones de IA generativa en el proceso de enseñanza universitario. *REDU, Revista de Docencia Universitaria*, 22(2), 158-176. <https://doi.org/10.4995/redu.2024.22027>
- Chao-Rebolledo, C., & Rivera-Navarro, M. Ángel. (2024). Usos y percepciones de herramientas de inteligencia artificial en la educación superior en México. *Revista Iberoamericana De Educación*, 95(1), 57–72. <https://doi.org/10.35362/rie9516259>

- Chura-Quispe, G., Apaza-Calero, J., & Fernández-Bedoya, V. (2024). Instrumento para evaluación de habilidades digitales en investigación educativa: Diseño y validación. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 27(81). <https://doi.org/10.30827/relieve.v31i1.29832>
- Domínguez Arteaga, R. (2025). *Políticas digitales en educación y seguridad: un acercamiento en nivel básico mexicano*. Comunicación Científica. <https://doi.org/10.52501/cc.282.06>
- Dotta, L. T., & Oliver, M. (2024). Methodological issues in technology-mediated qualitative data collection: A mapping of research undertaken in schools during the Covid-19 pandemic. *London Review of Education*, 22(1), 34. <https://doi.org/10.14324/LRE.22.1.34>
- Flores Aguilar, M. (2025). Importancia de las habilidades blandas y comunicativas en el desarrollo profesional de ingenieros: un estudio exploratorio. *Revista Digital Educación en Ingeniería*, 20(40), 1–10. <https://doi.org/10.26507/rei.v20n40.1354>
- Gallent Torres, C., Zapata González, A. & Ortego Hernando, J. (2023). El impacto de la inteligencia artificial generativa en educación superior: una mirada desde la ética y la integridad académica. *RELIEVE, Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 29(2). <https://doi.org/10.30827/relieve.v29i2.29134>
- González Rivera, P.(2024). Criterios actualizados sobre la metodología de la investigación educativa: Una aproximación bibliográfica. *Mendive, Revista de Educación*, 22(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962024000100031&lng=es&tng=es.
- Ibarra Martínez, R., Pérez González, M. & Caro Morales, J. (2023). Inteligencia artificial en la educación. *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, 7(1), 100–106. <https://doi.org/10.61530/redtis.vol7.n1.2023.136.100-106>
- Miranda Gavilánez, D. & Encalada Segovia, H. (2025). Revisión Sistemática sobre Herramientas de IA Educativas: Tipologías Funcionales, Criterios Éticos y Desafíos emergentes. *Reincisol*, 4(8), 1179–1217. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V4\(8\)1179-1217](https://doi.org/10.59282/reincisol.V4(8)1179-1217)
- Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI). (2025, 27 de marzo). *México apuesta por la IA en la educación* [Comunicado]. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://oei.int/oficinas/mexico/noticias/mexico-apuesta-por-la-ia-en-la-educacion/>
- Parra-Sánchez, J. (2022). Potencialidades de la Inteligencia Artificial en Educación Superior: Un Enfoque desde la Personalización. *Revista Docentes 2.0*, 14(1), 19–27. <https://doi.org/10.37843/rted.v14i1.296>

- Rodríguez Martínez, J. & López Gómez, E. (2025). Percepción de un estudiante de Psicología Educativa sobre el uso de inteligencia artificial generativa en la formación profesional. *FPSIC* (13).<https://doi.org/10.22201/fpsic.24486957e.2025.13.146>
- Roque Rodriguez, E. & Roque Ramos, E. (2025). Uso de inteligencia artificial en estudiantes de pregrado: aprendizaje basado en preguntas. *RIDE, Revista Iberoamericana para la Investigación y El Desarrollo Educativo*, 15(30). <https://doi.org/10.23913/ride.v15i30.2310>
- Ruiz Reynoso, A., Delgadillo Gómez, P. & Hernández Bonilla, B. (2025). Innovaciones en enseñanza y aprendizaje mediante Inteligencia Artificial en el Centro Universitario UAEM Valle de México. *RIDE, Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo*, 15(30). <https://doi.org/10.23913/ride.v15i30.2431>
- Salmerón, R. (2025). *Creación y expansión de programas académicos de inteligencia artificial en México*. Tec de Monterrey.
- Sánchez-Prieto, J., Izquierdo-Álvarez, V., Del Moral-Marcos, M. & Martínez-Abad, F. (2025). Inteligencia artificial generativa para autoaprendizaje en educación superior: Diseño y validación de una máquina de ejemplos. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 28(1), 59-81. <https://doi.org/10.5944/ried.28.1.41548>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2025, 24 de enero). *La inteligencia artificial estará al servicio de la educación y de las personas en México*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://www.unesco.org/ethics-ai/es/articulos/la-inteligencia-artificial-estara-al-servicio-de-la-educacion-y-de-las-personas-en-mexico>
- Vera Paredes, D., Franco Arias, O. & Córdova Martínez, L. (2025). Impacto de la inteligencia artificial en el aprendizaje de la programación informática en los estudiantes universitarios. *Ciencia y Educación*, 6(3), 33-50. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15056104>
- Vicente Rodrigo, T., Yesseña Jacqueline, R., Shirley Viviana, Z. & Rafael Alejandro, S. (2024). Integración de la inteligencia artificial en la enseñanza universitaria para optimizar el proceso de aprendizaje. *Magazine de las Ciencias: Revista De Investigación E Innovación*, 9(2), 68-94. <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i2.3104>
- Vera, F. (2023). Integración de la Inteligencia Artificial en la Educación superior: Desafíos y oportunidades. *Transformar*, 4(1), 17-34. <https://www.revista-transformar.cl/index.php/transformar/article/view/84>

Zambrana Copaja, R., Salinas Montemayor, A., Macías García, F. & Escobar, E. (2025). *Inteligencia artificial en la educación superior para promover un aprendizaje personalizado e inclusivo: una revisión sistemática*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16147008>