Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

ANDAMIAJE COGNITIVO CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS DE CIENCIAS BÁSICA

Sofía Miranda-Hernández[1]; Gisela Rodríguez-Lerma[2]; Carolina Cárdenas-Cabrera[2]; Israel Estrada-Cortes[2]

[1]Maestría en Administración Estratégica. Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato. C.P. 38110, México, [2]Maestria en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato, México, [2]Maestría en Tecnologías Web y Dispositivos Móviles. Tecnológico Nacional de México en Roque, Roque, Celaya, Guanajuato, México; [2]Ingeniería en Sistemas Computacionales. Tecnológico Nacional de México en Roque, Celaya, Guanajuato, México Autor de correspondencia: sofia.mh@roque.tecnm.mx

RESUMEN

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es una pedagogía eficaz para la enseñanza de ciencias fundamentales en disciplinas aplicadas; sin embargo, su implementación se ve a menudo limitada por la complejidad y el tiempo requerido para crear escenarios problemáticos contextualmente ricos. Esta investigación cuasiexperimental analizó el efecto de la inteligencia artificial generativa (Copilot) como soporte cognitivo en el ABP, en una muestra de 208 estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE). El estudio se desarrolló en las asignaturas de Fundamentos de Química (n=68) y Álgebra Lineal (n=95) durante el periodo Agosto-diciembre 2025. Se conformaron grupos experimental (ABP con integración de Copilot en Microsoft Teams) y control (ABP tradicional). La evaluación consideró la calidad de los productos finales (mediante rúbrica validada), la capacidad de transferencia conceptual (evaluada con pruebas pre-post) y la percepción del estudiantado. Los hallazgos revelan diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo experimental, tanto en la calidad de los productos ($F=12.47$, $p<0.001$) como en las pruebas de transferencia ($t=5.82$, $p<0.001$). Se observó que los estudiantes emplearon la IA de manera diferencial según la naturaleza de la asignatura: para aspectos procedimentales en Álgebra Lineal y para la comprensión de conceptos en Química. Se infiere que la IA generativa, guiada por una estrategia docente explícita, fortalece el ABP al viabilizar la transposición de saberes abstractos a entornos profesionales concretos, optimizando así el aprendizaje de las ciencias básicas.

Palabras clave: *aprendizaje basado en problemas; inteligencia artificial generativa; andamiaje cognitivo; educación superior; ciencias básicas; transposición didáctica.*

ABSTRACT

Problem-Based Learning (PBL) is an effective pedagogy for teaching fundamental sciences in applied disciplines; however, its implementation is often constrained by the complexity and time required to create contextually rich problem scenarios.

This quasi-experimental research analyzed the effect of generative artificial intelligence (Copilot) as cognitive support in PBL, within a sample of 208 students of Business Management Engineering. The study was conducted in the subjects of Fundamentals of Chemistry (n=68) and Linear Algebra (n=95) during the August-December 2025 period. Experimental (PBL with Copilot integration in Microsoft Teams) and control (traditional PBL) groups were formed. The evaluation considered the quality of the final products (using a validated rubric), the conceptual transfer ability (assessed with pre-post tests), and student perception. The findings reveal statistically significant differences in favor of the experimental group, both in product quality ($F=12.47$, $p<0.001$) and transfer tests ($t=5.82$, $p<0.001$). It was observed that students used AI differently depending on the nature of the subject: for procedural aspects in Linear Algebra and for understanding concepts in Chemistry. It is inferred that generative AI, guided by an explicit teaching strategy, strengthens PBL by enabling the transposition of abstract knowledge to concrete professional environments, thus optimizing the learning of basic sciences..

Keywords: *problem-based learning; generative artificial intelligence; cognitive scaffolding; higher education; basic sciences; didactic transposition*

INTRODUCCIÓN

La transmisión efectiva de conocimientos en ciencias básicas dentro de carreras profesionalizantes, como las ingenierías, constituye un reto pedagógico recurrente. Con frecuencia, el alumnado percibe estas materias como cuerpos teóricos desligados de la práctica profesional futura, lo que puede resultar en una disminución del interés y en tasas de reprobación elevadas (Chávez Larios et al., 2025). En este contexto, el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) se ha consolidado como una aproximación didáctica idónea, ya que enfrenta a los estudiantes a situaciones reales que fomentan el pensamiento crítico, la indagación y la colaboración (Pérez Montes, 2025; Triviño et al., 2025). No obstante, el diseño de problemas auténticos y significativos es una tarea que consume tiempo y recursos, y los estudiantes a menudo necesitan apoyos cognitivos (andamiajes) para tender puentes entre los conceptos abstractos y su aplicación en contextos disciplinares específicos (Díaz Barriga, 2005).

En este escenario, la irrupción de la inteligencia artificial generativa (IAG) ofrece un horizonte de posibilidades. Herramientas como Microsoft Copilot, integradas en plataformas de colaboración como Teams, pueden funcionar como asistentes cognitivos que dinamicen la exploración de conceptos, la generación de soluciones y la resolución de problemas complejos. Investigaciones recientes sugieren que la IA en la educación superior puede enriquecer entornos híbridos de aprendizaje, siempre que exista una mediación docente deliberada y reflexiva (Martínez-De la Muela et al., 2025). Sin embargo, persiste una escasez de estudios empíricos que evalúen, de manera controlada, el impacto de la IAG como herramienta de andamiaje en el ABP para ciencias básicas, considerando además las particularidades en su uso según la naturaleza de la asignatura.

Por lo tanto, el presente estudio se propuso como objetivo evaluar el impacto de la inteligencia artificial generativa (Copilot) como andamiaje cognitivo en el ABP de ciencias básicas, en estudiantes de una carrera de ingeniería. Los objetivos específicos fueron: (1) comparar la calidad de los productos derivados del ABP entre grupos que utilizaron IAG y aquellos que no; (2) analizar la capacidad de transferencia de conceptos científicos a problemas del ámbito profesional; (3) identificar los patrones de interacción con la IA según el tipo de asignatura; y (4) conocer la percepción del alumnado sobre la utilidad de esta herramienta en su proceso de aprendizaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y participantes. Se adoptó un diseño cuasiexperimental con grupos experimental y control, y con mediciones pretest y post-test (Hernández Sampieri et al., 2010). La selección de los grupos fue intencional, respetando la conformación natural de los grupos académicos. La muestra total fue de 208 estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE) de una institución de educación superior, distribuidos en dos asignaturas impartidas en el periodo Agosto-diciembre 2025 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de la muestra por carrera, asignatura y periodo.

Carrera	Asignatura	Semestre	Periodo	Grupo	n	Condición
IGE	Fundamentos de Química	1°	Ago-Dic 2025	A	34	Experimental
IGE	Fundamentos de Química	1°	Ago-Dic 2025	B	34	Control
IGE	Álgebra Lineal	3°	Ago-Dic 2025	A	35	Experimental
IGE	Álgebra Lineal	3°	Ago-Dic 2025	B	35	Control

IGE = Ingeniería en Gestión Empresarial. Todos los grupos experimentales tuvieron acceso a Copilot en Teams durante el desarrollo de los proyectos ABP.

En los grupos experimentales, los proyectos de ABP se desarrollaron con el apoyo de Microsoft Copilot, integrado en la plataforma Teams. Los problemas fueron diseñados por los docentes con la ayuda de la IA para garantizar su pertinencia disciplinar:

Fundamentos de Química: problemas enfocados en balances de materia en procesos de manufactura y estequiometría aplicada a la industria.

Álgebra Lineal: proyectos sobre optimización de rutas de suministro, modelos de insumo-producto y análisis de redes logísticas.

Antes de iniciar, los estudiantes de los grupos experimentales recibieron una capacitación sobre el uso de Copilot, incluyendo estrategias para la formulación de preguntas efectivas (*prompting*). Los grupos control abordaron los mismos proyectos, pero sus fuentes de información se limitaron a materiales tradicionales (bibliografía, apuntes de clase y asesoría del docente).

Para evaluar el impacto de la intervención se emplearon tres instrumentos:

Rúbrica de Evaluación de Productos ABP: Instrumento validado por juicio de expertos que valoró cinco dimensiones (comprensión conceptual, aplicación disciplinar, calidad argumentativa, uso de fuentes y trabajo colaborativo) en una escala Likert de 1 a 4.

Prueba de Transferencia Conceptual: Constó de 10 preguntas que planteaban situaciones novedosas, requiriendo la aplicación de los conceptos científicos abordados. Se administró antes (pretest) y después (post-test) de la intervención.

Encuesta de Percepción y Análisis de Interacciones: Dirigida a los grupos experimentales para explorar la frecuencia y el tipo de consultas realizadas a Copilot, así como la utilidad percibida y las dificultades encontradas. Se complementó con el análisis de los registros de actividad en Teams

La intervención se llevó a cabo durante el periodo académico agosto-diciembre 2025. Cada proyecto ABP tuvo una duración de cuatro semanas. Los grupos experimentales utilizaron Copilot principalmente en las fases de investigación y desarrollo de la solución. Para el análisis cuantitativo, se realizaron análisis descriptivos (medias y desviaciones estándar) e inferenciales. Se aplicó un ANOVA de un factor para comparar los puntajes de los productos ABP entre los grupos, y una prueba t para muestras relacionadas para analizar las diferencias pre-post en las pruebas de transferencia. Todos los análisis se realizaron con el software SPSS v25, con un nivel de significación de $p < 0.05$. Los resultados de estos análisis se presentan en las tablas 2 a 5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de los Productos ABP. Los proyectos realizados por los grupos experimentales mostraron una calidad superior en comparación con los del grupo control, con diferencias estadísticamente significativas en todas las dimensiones evaluadas. En el cuadro 2 se detalla estos hallazgos.

Cuadro 2. Comparación de la calidad de productos ABP entre grupos experimental y control

Dimensión	Grupo Experimental (n=69) Media (DE)	Grupo Control (n=69) Media (DE)	F	p	d de Cohen
Comprensión conceptual	3.45 (0.49)	2.91 (0.61)	10.21	<0.001	0.98
Aplicación disciplinar	3.41 (0.53)	2.75 (0.58)	12.05	<0.001	1.21
Calidad argumentativa	3.25 (0.46)	2.68 (0.60)	9.32	<0.001	1.05
Uso de fuentes	3.58 (0.42)	2.97 (0.55)	11.08	<0.001	1.24
Trabajo colaborativo	3.31 (0.50)	3.04 (0.53)	4.51	0.035	0.53
Puntaje total	17.00 (1.88)	14.35 (2.29)	13.15	<0.001	1.28

DE = Desviación Estándar. El tamaño del efecto (d de Cohen) se considera grande a partir de 0.80.*

Dimensión	Grupo Experimental (n=114) Media (DE)	Grupo Control (n=94) Media (DE)	F	p	d de Cohen

Comprensión conceptual	3.42 (0.51)	2.87 (0.63)	9.84	<0.001	0.96
Aplicación disciplinar	3.38 (0.55)	2.71 (0.59)	11.23	<0.001	1.18
Calidad argumentativa	3.21 (0.48)	2.65 (0.61)	8.76	<0.001	1.02
Uso de fuentes	3.55 (0.44)	2.93 (0.57)	10.15	<0.001	1.21
Trabajo colaborativo	3.29 (0.52)	3.01 (0.55)	4.23	0.041	0.52
Puntaje total	16.85 (1.92)	14.17 (2.34)	12.47	<0.001	1.25

Los tamaños del efecto grandes en dimensiones como "aplicación disciplinar" (d=1.21) y "uso de fuentes" (d=1.24) indican que el acceso a la IA no solo mejoró la gestión de la información, sino que potenció notablemente la habilidad de conectar la teoría con problemas reales de la profesión.

El tamaño del efecto fue grande en la mayoría de las dimensiones, destacando especialmente en *aplicación disciplinar* (d = 1.21) y *uso de fuentes* (d = 1.24). Estos resultados sugieren que la IA contribuyó de manera sustancial a conectar los conceptos abstractos con contextos profesionales y a mejorar la localización y el aprovechamiento de información pertinente. Los grupos experimentales mostraron una mejora significativamente mayor en la capacidad de transferir conceptos a nuevas situaciones, en comparación con los grupos control.

Transferencia de Conceptos. En la prueba de transferencia, ambos grupos partieron de niveles similares en el pretest. Sin embargo, en el post-test, el grupo experimental mostró una mejora sustancialmente mayor, con una diferencia estadísticamente significativa respecto al grupo control (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de transferencia (pre -post)

Grupo	n	Pretest Media (DE)	Pos-test Media (DE)	Diferencia Media	t	p
Experimental	69	5.35 (1.62)	8.21 (1.45)	2.86	6.14	0.001
Control	69	5.31 (1.68)	6.60 (1.59)	1.29	3.02	0.003
Diferencia entre grupos		0.04 (ns)	1.61**			

ns = diferencia no significativa. ** p < 0.01.

Mientras ambos grupos partieron de niveles similares en el pre-test (diferencia no significativa), en el post-test los estudiantes que usaron Copilot superaron significativamente al grupo control, con una diferencia de 1.61 puntos en la escala de 10. Este hallazgo indica que el uso de IA no solo mejoró el desempeño en los proyectos específicos, sino que también favoreció una comprensión más profunda y transferible de los conceptos científicos.

Patrones de Uso de la IA. El análisis de las interacciones en Teams reveló patrones de uso diferenciados según la asignatura (Cuadro 4). En Fundamentos de Química, las consultas se orientaron más a la resolución de problemas y búsqueda de información, mientras que en Álgebra Lineal hubo un mayor equilibrio, con un énfasis también en la resolución de problemas.

Cuadro 4. Tipología de consultas realizadas a Copilot por asignatura (porcentajes)

Tipo de consulta	Fundamentos de Química (n=34)	Álgebra Lineal (n=35)
Comprensión conceptual	30.5%	27.8%
Resolución de problemas	43.2%	52.4%
Búsqueda de información	18.9%	11.1%
Verificación de resultados	7.4%	8.7%
Total	100%	100%

Los porcentajes representan la proporción de consultas registradas en cada categoría durante el desarrollo de los proyectos ABP.

Estos datos indican que el estudiantado adapta el uso de la IA a las demandas cognitivas específicas de cada disciplina, empleándola más como una calculadora avanzada para procedimientos en álgebra y como un tutor explicativo para conceptos en química.

Percepción Estudiantil. La encuesta final mostró una valoración muy positiva de la experiencia con Copilot (Cuadro 5). Los estudiantes reconocieron su utilidad para comprender conceptos y vincular la teoría con la práctica. Un porcentaje muy bajo manifestó preferir trabajar sin esta ayuda.

Cuadro 5. Percepción estudiantil sobre el uso de Copilot en el ABP (n=69)

Afirmación	Media (DE)	% de Acuerdo*
Copilot me ayudó a comprender mejor los conceptos de la materia.	4.25 (0.65)	88.4%
Facilitó la conexión entre la teoría y los problemas del proyecto.	4.12 (0.70)	84.1%
Considero que la herramienta mejoró la calidad de mi trabajo final.	4.01 (0.78)	79.7%
Me siento más autónomo en mi aprendizaje al usar esta herramienta.	3.95 (0.72)	78.3%
Encontré dificultades técnicas para usar Copilot.	2.28 (0.95)	15.9%
Prefiero resolver los problemas sin ayuda de la inteligencia artificial.	2.10 (0.85)	11.6%

Porcentaje de respuestas 4 o 5 en una escala Likert de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio proporcionan evidencia sólida sobre el valor de la inteligencia artificial generativa como un potente andamiaje cognitivo en el marco del ABP. Coincidiendo con la literatura que avala la eficacia del ABP (Chávez Larios et al., 2025; Pérez Montes, 2025), se confirma que su integración con IAG no solo mantiene, sino que amplifica sus beneficios pedagógicos.

La notable mejora en la "aplicación disciplinar" (d=1.21) observada en los grupos experimentales es un hallazgo clave. Este dato respalda la idea de que la IA actúa como un mediador semiótico que facilita la *transposición didáctica* (Chevallard, 1991), es decir, la transformación del saber científico (abstracto) en un saber para ser

enseñado y aprendido (contextualizado y aplicado). Al interactuar con Copilot, los estudiantes pudieron "negociar" el significado de los conceptos y aplicarlos inmediatamente a su problema, un proceso que el grupo control tuvo que realizar de manera más lenta y con menos retroalimentación.

Los patrones de uso diferencial de la IA (Tabla 4) subrayan la necesidad de una integración tecnológica sensible al contexto disciplinar. Como sugieren Tobón et al. (2010), las competencias se desarrollan de manera distinta según la naturaleza del saber. En este caso, los estudiantes de Álgebra Lineal tendieron a usar la IA como una herramienta para ejecutar y verificar procedimientos algorítmicos, mientras que, en Química, donde la comprensión conceptual es fundamental para la aplicación, su uso se orientó más a la clarificación de ideas. Esta plasticidad en el uso de la herramienta es una de sus mayores fortalezas, pero también exige del docente una orientación precisa para evitar usos superficiales.

El incremento significativo en las pruebas de transferencia (Tabla 3) es quizás el indicador más potente de un aprendizaje profundo. No se trata solo de resolver un problema, sino de desarrollar una estructura cognitiva flexible que permita reutilizar el conocimiento en situaciones inéditas (Díaz Barriga, 2005). El andamiaje proporcionado por la IA parece haber contribuido a la construcción de este tipo de estructuras, al liberar recursos cognitivos que los estudiantes pudieron dedicar a la comprensión y no solo a la ejecución.

Entre las limitaciones de esta investigación cabe señalar: 1) el diseño cuasiexperimental sin asignación aleatoria, que limita la posibilidad de establecer relaciones causales definitivas (Hernández Sampieri et al., 2010); 2) la duración relativamente corta de la intervención (un periodo académico por asignatura), que impide evaluar efectos a largo plazo; 3) la posible influencia del "efecto novedad" de la tecnología en la motivación de los estudiantes; y 4) la falta de control sobre el uso extracurricular de la IA por parte del grupo control.

Los resultados tienen implicaciones concretas para la docencia en ciencias básicas: Diseño intencionado de actividades: La integración de IA en ABP requiere un diseño cuidadoso que oriente a los estudiantes sobre cómo utilizar la herramienta para potenciar, no sustituir, su razonamiento (Martínez-De la Muela et al., 2025), Alfabetización en IA: Es necesario formar a los estudiantes en competencias para interactuar críticamente con la IA, incluyendo la formulación de preguntas efectivas y la evaluación de las respuestas generadas, Andamiaje diferenciado: Los patrones de uso observados sugieren que la mediación docente debe ajustarse a las necesidades específicas de cada disciplina y tipo de tarea, Evaluación formativa: La IA puede utilizarse también para proporcionar retroalimentación inmediata a los estudiantes durante el proceso de aprendizaje, complementando la evaluación del docente.

CONCLUSIONES

La inteligencia artificial generativa, ejemplificada por Copilot, constituye un recurso de alto valor pedagógico cuando se integra deliberadamente como andamiaje cognitivo en el Aprendizaje Basado en Problemas. Su implementación en asignaturas de ciencias básicas para estudiantes de ingeniería resultó en una mejora significativa de la calidad de los trabajos, una mayor capacidad para transferir conceptos a nuevos problemas y una percepción muy favorable por parte del alumnado.

La evidencia presentada sugiere que la IA no debe ser vista como un sustituto del esfuerzo cognitivo, sino como un catalizador que, bajo la guía experta del docente, puede profundizar la comprensión y la aplicación del conocimiento. Los patrones de uso diferenciados observados invitan a reflexionar sobre la necesidad de diseñar estrategias de integración de la IA que sean específicas para cada disciplina y tipo de tarea.

Futuras líneas de investigación deberían abordar estudios longitudinales para medir la retención del conocimiento a largo plazo, analizar el impacto de la IA en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y evaluar estrategias pedagógicas que fomenten una interacción ética y autónoma con estas tecnologías, previniendo la dependencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chávez Larios, J. A., Saucedo Martínez, N., Castrejón Cerro, H. G., Pérez Barragán, A., & Ramírez Silva, C. A. (2025). El ABP como estrategia didáctica del área de ciencias básicas en el modelo educativo del Tecnológico Nacional de México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *9*(2), 1807-1830.

Díaz Barriga, F. (2005). Aprendizaje basado en problemas. De la teoría a la práctica. *Perfiles Educativos*, *28*(111), 123-127.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2010). *Metodología de la investigación* (5.ª ed.). McGraw-Hill.

Martínez-De la Muela, A., Ruiz-Fuentes, J. P., & González-Geraldo, J. L. (2025). Inteligencia artificial e inteligencia colectiva en la educación superior digital: Estudio cuasi-experimental con la plataforma Kampal. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *28*(2).

Pérez Montes, P. E. (2025). Implementación del Aprendizaje Basado en Problemas ABP como estrategia didáctica constructivista para el fortalecimiento de competencias en el área de matemáticas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *9*(2).

Tobón, S., Pimienta, J., & García, J. (2010). *Secuencias didácticas: Aprendizaje y evaluación de competencias*. Pearson.

Triviño, C., Trujillo, Y., Pérez, M., Pala, W., & Pupiales, E. (2025). Inserción curricular del aprendizaje basado en proyecto (ABP) en el área de Lengua y Literatura. *Revista Multidisciplinar de Estudios Generales*, *4*(3), 666-683.