

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA EN EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS STEM

ANALYSIS OF THE IMPACT OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE DEVELOPMENT OF STEM COMPETENCIES

Autores: ¹Geovanny Francisco Ruiz Muñoz y ²Juan Carlos Vasco Delgado.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7529-6342>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0587-9758>

¹E-mail de contacto: geovanny.ruizm@ug.edu.ec

Afiliación: ^{1*2*}Universidad de Guayaquil. (Ecuador).

Artículo recibido: 11 de Enero del 2026

Artículo revisado: 13 de Enero del 2026

Artículo aprobado: 22 de Enero del 2026

¹Universidad de Guayaquil. (Ecuador).

²Universidad de Guayaquil. (Ecuador).

Resumen

La integración de inteligencia artificial generativa en educación STEM ha generado interrogantes sobre su impacto en el desarrollo de competencias técnicas y analíticas. Este estudio cuasi-experimental evaluó el efecto de la IA generativa en competencias STEM mediante una muestra de estudiantes universitarios ecuatorianos, distribuidos en grupos de intervención y control. Se empleó la Batería de Evaluación de Competencias STEM, evaluando competencias matemáticas, razonamiento científico, resolución de problemas, programación y análisis de datos. Los resultados revelaron mejoras estadísticamente significativas en todas las dimensiones evaluadas, con efectos más pronunciados en competencias de orden superior como análisis, síntesis y evaluación, comparado con competencias básicas de conocimiento y comprensión. Los efectos fueron sostenidos y se incrementaron progresivamente a lo largo del tiempo. Se concluye que la IA generativa actúa como herramienta de mediación cognitiva que fortalece las capacidades estudiantiles de manera duradera, especialmente en procesos de pensamiento complejo y resolución de problemas.

Palabras clave: Inteligencia artificial generativa, Competencias STEM, Educación Superior, Desarrollo cognitivo, Evaluación educativa.

Abstract

The integration of generative artificial intelligence in STEM education has raised questions about its impact on the development of technical and analytical competencies. This quasi-experimental study evaluated the effect of generative AI on STEM competencies through a sample of Ecuadorian university students, distributed in intervention and control groups. The STEM Competency Assessment Battery was employed, evaluating mathematical competencies, scientific reasoning, problem-solving, programming, and data analysis. Results revealed statistically significant improvements in all evaluated dimensions, with more pronounced effects on higher-order competencies such as analysis, synthesis, and evaluation, compared to basic competencies of knowledge and comprehension. Effects were sustained and progressively increased over time. It is concluded that generative AI acts as a cognitive mediation tool that strengthens student capabilities durably, especially in complex thinking processes and problem-solving.

Keywords: Generative artificial intelligence, STEM competencies, Higher education, Cognitive development, Educational assessment.

Sumário

A integração da inteligência artificial generativa (IA generativa) no ensino STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) tem levantado questões sobre seu

impacto no desenvolvimento de habilidades técnicas e analíticas. Este estudo quase-experimental avaliou o efeito da IA generativa nas habilidades STEM utilizando uma amostra de estudantes universitários equatorianos, divididos em grupos de intervenção e controle. Foi utilizada a Bateria de Avaliação de Habilidades STEM (STEM Skills Assessment Battery), que avalia habilidades matemáticas, raciocínio científico, resolução de problemas, programação e análise de dados. Os resultados revelaram melhorias estatisticamente significativas em todas as dimensões avaliadas, com efeitos mais pronunciados em habilidades de ordem superior, como análise, síntese e avaliação, em comparação com as habilidades básicas de conhecimento e compreensão. Os efeitos foram sustentados e aumentaram progressivamente ao longo do tempo. Conclui-se que a IA generativa atua como uma ferramenta de mediação cognitiva que fortalece as habilidades dos estudantes de forma duradoura, especialmente em processos de pensamento complexo e resolução de problemas.

Palavras-chave: **Inteligencia artificial generativa, Habilidades STEM, Ensino superior, Desenvolvimento cognitivo, Avaliação educacional.**

Introducción

La integración de la inteligencia artificial generativa en la educación superior está transformando fundamentalmente el desarrollo de competencias en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). La masificación del acceso a herramientas como ChatGPT, Claude y otras plataformas de IA generativa ha generado un punto de inflexión en las metodologías de enseñanza-aprendizaje de disciplinas STEM, planteando interrogantes fundamentales sobre cómo estas tecnologías influyen en la adquisición de competencias técnicas, analíticas y de resolución de problemas. Esta revolución tecnológica no solo está redefiniendo las estrategias pedagógicas en campos científicos y tecnológicos, sino que

también está cuestionando los paradigmas establecidos sobre la evaluación de competencias STEM y el desarrollo de habilidades críticas en estas áreas. La relevancia de investigar este fenómeno radica en su impacto directo sobre la formación de profesionales en áreas STEM, campos que constituyen pilares fundamentales del desarrollo tecnológico y científico contemporáneo. Las universidades se enfrentan a la urgente necesidad de comprender cómo la IA generativa afecta el desarrollo de competencias específicas en matemáticas, física, ingeniería y ciencias de la computación, mientras que los estudiantes navegan entre las oportunidades de mejora en su aprendizaje conceptual y los riesgos potenciales para el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y resolución autónoma de problemas. La velocidad con la que estas herramientas se han integrado en la formación STEM ha superado la capacidad de las instituciones educativas para evaluar empíricamente su impacto en el desarrollo de competencias específicas, generando un vacío que requiere investigación cuantitativa rigurosa.

Los estudios recientes han comenzado a mapear este territorio inexplorado, revelando un panorama complejo sobre el impacto de la IA generativa en el desarrollo de competencias STEM. Chan y Hu (2023) identificaron que los estudiantes universitarios perciben beneficios significativos en el uso de IA generativa para el apoyo en resolución de problemas matemáticos, programación y análisis de datos, aunque también expresan preocupaciones sobre la dependencia tecnológica y la potencial atrofia de habilidades fundamentales. Esta dualidad entre beneficios percibidos y riesgos para el desarrollo autónomo de competencias STEM se ha convertido en un tema central en la literatura emergente. La investigación empírica sobre los

efectos reales de la IA generativa en el desarrollo de competencias STEM ha arrojado resultados que requieren análisis cuantitativo más profundo. Liu et al. (2025) realizaron un meta-análisis que sintetiza los efectos de la IA generativa en los resultados de aprendizaje, proporcionando evidencia cuantitativa sobre su impacto en el rendimiento en matemáticas, ciencias e ingeniería, así como en la adquisición de competencias técnicas específicas. Sin embargo, estos hallazgos deben ser contextualizados considerando factores como el tipo de competencia STEM evaluada, el nivel de complejidad conceptual y las características específicas de cada disciplina científica.

La perspectiva docente en disciplinas STEM constituye otro ángulo crucial para comprender este fenómeno. Lee et al. (2024) exploraron las percepciones de los educadores universitarios sobre el impacto de la IA generativa en el aprendizaje y la enseñanza de materias científicas y tecnológicas, revelando una gama de expectativas y preocupaciones específicas sobre el desarrollo de competencias como pensamiento algorítmico, razonamiento matemático y habilidades de programación. La divergencia entre las perspectivas estudiantiles y docentes en contextos STEM, documentada por Kim et al. (2025), sugiere la existencia de brechas significativas en la comprensión sobre cómo estas tecnologías impactan el desarrollo de competencias técnicas especializadas. La cuestión de la integridad académica en disciplinas STEM ha emergido como una preocupación específica en este debate. Yusuf et al. (2024) han planteado la interrogante fundamental sobre si la IA generativa representa una amenaza para el desarrollo auténtico de competencias STEM o, por el contrario, constituye una herramienta que puede potenciar el aprendizaje de conceptos matemáticos, científicos y tecnológicos. Esta

tensión entre dependencia tecnológica y fortalecimiento de competencias ha catalizado el desarrollo de nuevos enfoques evaluativos específicos para disciplinas STEM que buscan medir el desarrollo real de habilidades técnicas.

El desarrollo de la alfabetización en IA generativa específicamente orientada a competencias STEM se ha identificado como un componente esencial para la integración exitosa de estas tecnologías en la formación científica y tecnológica. Chen et al. (2025) han examinado cómo los estudiantes adoptan, interactúan y evalúan estas herramientas en contextos STEM, con particular énfasis en el desarrollo de competencias como modelado matemático, programación y análisis de datos. Ayyoub et al. (2025) han investigado los factores que influyen en la alfabetización en IA de los educadores en disciplinas STEM, identificando competencias específicas necesarias para integrar efectivamente estas tecnologías en la enseñanza de matemáticas, ciencias e ingeniería. La investigación sobre factores determinantes de adopción de IA generativa en contextos STEM ha revelado patrones específicos relacionados con el desarrollo de competencias técnicas. Alotaibi (2025) ha explorado los determinantes de la adopción de IA generativa por parte de estudiantes universitarios en disciplinas STEM, identificando el papel mediador de la confianza tecnológica en la relación entre uso de IA y desarrollo de competencias matemáticas, científicas y de ingeniería. Este enfoque permite comprender mejor los mecanismos que facilitan u obstaculizan la integración efectiva de estas herramientas en el proceso de adquisición de competencias STEM especializadas.

El impacto de la IA generativa en los sistemas de evaluación de competencias STEM ha sido objeto de análisis sistemático por parte de Xia

et al. (2024), quienes han documentado las transformaciones en las prácticas evaluativas específicas para disciplinas científicas y tecnológicas, incluyendo cambios en la evaluación de habilidades de resolución de problemas, pensamiento algorítmico y competencias de programación. Esta línea de investigación es particularmente relevante dado que la evaluación de competencias STEM presenta desafíos únicos relacionados con la medición de habilidades técnicas específicas y la autenticidad del desarrollo de competencias. La síntesis de la literatura existente sobre aplicaciones de IA generativa en educación STEM, como la realizada por Qian (2025), ha permitido identificar tendencias específicas en el desarrollo de competencias científicas y tecnológicas, beneficios particulares para el aprendizaje de matemáticas y ciencias, y limitaciones específicas en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en contextos STEM. Estas revisiones sistemáticas proporcionan marcos conceptuales esenciales para orientar futuras investigaciones cuantitativas sobre el impacto de la IA generativa en competencias STEM específicas.

A partir de esta base teórica y empírica, el presente estudio se propone analizar cuantitativamente el impacto de la IA generativa en el desarrollo de competencias STEM en estudiantes universitarios, con particular énfasis en la medición objetiva de habilidades matemáticas, científicas y tecnológicas. La hipótesis central que guía esta investigación sostiene que el uso de IA generativa produce efectos diferenciados en el desarrollo de competencias STEM, siendo más beneficioso para competencias de nivel cognitivo superior (análisis, síntesis, evaluación) que para competencias fundamentales (conocimiento, comprensión, aplicación básica). Esta hipótesis se deriva de la

evidencia empírica previa que sugiere que la IA generativa puede potenciar procesos cognitivos complejos mientras que podría generar dependencia en habilidades básicas de cálculo y resolución algorítmica. El diseño metodológico del presente estudio se fundamenta en un enfoque cuantitativo que emplea mediciones estandarizadas de competencias STEM, análisis estadístico multivariado y técnicas de inferencia causal para determinar el impacto real de la IA generativa en el desarrollo de habilidades específicas. Esta aproximación metodológica cuantitativa se alinea con la necesidad de generar evidencia empírica robusta sobre la efectividad de estas tecnologías en contextos STEM, proporcionando datos objetivos que puedan informar decisiones pedagógicas y políticas institucionales. La coherencia entre el diseño cuantitativo y las hipótesis planteadas garantiza que los resultados contribuyan significativamente a la comprensión empírica del fenómeno y proporcionen orientaciones basadas en evidencia para la integración efectiva de la IA generativa en la formación STEM.

Materiales y Métodos

El presente estudio adopta un diseño cuasi-experimental de grupos de comparación con mediciones pre-post, orientado a evaluar el impacto de la inteligencia artificial generativa en el desarrollo de competencias STEM. La investigación se estructura bajo un paradigma cuantitativo, lo que permite la medición objetiva de habilidades específicas y el análisis estadístico de las diferencias entre grupos expuestos y no expuestos al uso de IA generativa. La asignación de los participantes a los grupos se realizó mediante un proceso de estratificación por carrera e institución, sin aleatorización, procurando mantener equivalencia estadística en variables clave como edad, género y rendimiento académico

previo. La investigación incorpora un enfoque longitudinal con tres momentos de medición claramente definidos: una evaluación inicial o preintervención, una evaluación intermedia a los tres meses y una evaluación final a los seis meses. Este diseño temporal permite capturar tanto los efectos inmediatos como los efectos sostenidos del uso de la IA generativa en el desarrollo de competencias STEM específicas a lo largo del tiempo.

La muestra final estuvo conformada por 480 estudiantes de pregrado pertenecientes a disciplinas STEM, incluyendo ingeniería de sistemas, ingeniería civil, matemáticas, física, química, biología y ciencias de la computación, procedentes de dos universidades ecuatorianas, una de carácter público y otra privada. Los participantes se distribuyeron equitativamente entre el grupo de intervención ($n = 240$) y el grupo de control ($n = 240$), con una asignación balanceada por institución, de modo que cada universidad aportó 120 estudiantes por grupo. Como criterios de inclusión se consideró que los participantes cursaran entre el segundo y sexto semestre de sus respectivas carreras, contaran con acceso regular a internet y dispositivos digitales, residieran en Ecuador durante el período de estudio y no hubieran participado previamente en investigaciones relacionadas con el uso de inteligencia artificial generativa. Se excluyeron del estudio los estudiantes de primer semestre, debido a la falta de una base suficiente en competencias STEM, así como aquellos de los últimos semestres, por encontrarse enfocados en proyectos de titulación. También se excluyeron participantes con dificultades de aprendizaje no controladas y aquellos que reportaron un uso profesional previo de herramientas de IA generativa superior a seis meses. En cuanto a las características sociodemográficas de la muestra, la edad promedio fue de 20.3 años (DE = 1.8),

con una distribución de género del 52 % femenino y 48 % masculino. El nivel socioeconómico se distribuyó en un 40 % bajo, 45 % medio y 15 % alto, mientras que la distribución por áreas académicas correspondió a un 25 % en ingenierías, 20 % en ciencias exactas, 15 % en computación, 20 % en ciencias naturales y 20 % en matemáticas aplicadas.

El procedimiento de muestreo empleado fue de tipo estratificado por institución, considerada como conglomerado, y por carrera, definida como estrato. El tamaño muestral se calculó con el objetivo de detectar un efecto mediano ($d = 0.5$), con un poder estadístico del 80 % y un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, ajustando el cálculo por una tasa estimada de deserción del 15 %, lo que resultó en 240 participantes por grupo, un margen de error del 4.5 % y un intervalo de confianza del 95 %. La asignación a los grupos fue no aleatoria, pero se aplicó un proceso de pareamiento para asegurar la equivalencia en las variables basales relevantes. La recolección de datos se fundamentó en un conjunto de instrumentos validados, diseñados específicamente para medir competencias STEM en contextos de educación superior. El instrumento principal fue la Batería de Evaluación de Competencias STEM (BECS), desarrollada para este estudio mediante un riguroso proceso de validación que incluyó la evaluación de la validez de contenido por un panel de expertos, la validez de constructo a través de análisis factorial confirmatorio y la validez de criterio mediante correlaciones con medidas establecidas de rendimiento académico. La BECS evalúa cinco dimensiones centrales de las competencias STEM: competencias matemáticas fundamentales, habilidades de razonamiento científico, competencias de resolución de problemas, habilidades de programación y pensamiento

algorítmico, y competencias de análisis e interpretación de datos.

La confiabilidad de la BECS se estableció mediante coeficientes alfa de Cronbach superiores a 0.85 en todas las subescalas, así como coeficientes de estabilidad test-retest superiores a 0.80 en un intervalo de dos semanas. La validez de constructo fue confirmada mediante análisis factorial confirmatorio, el cual evidenció un ajuste satisfactorio del modelo teórico propuesto, con valores de CFI = 0.95, RMSEA = 0.06 y SRMR = 0.05. Adicionalmente, se implementaron controles para minimizar el efecto de práctica, mediante la elaboración de formas paralelas de los instrumentos utilizados en las mediciones repetidas. Como instrumentos complementarios, se empleó el Cuestionario de Patrones de Uso de IA Generativa (CPUIG), destinado a documentar la frecuencia, los tipos de uso y las percepciones de los participantes respecto a estas tecnologías. Este cuestionario fue adaptado a partir de escalas existentes y validado mediante análisis de confiabilidad y validez en una muestra piloto de 120 estudiantes, distribuidos equitativamente entre ambas universidades. Asimismo, se utilizó la Escala de Autoeficacia en Competencias STEM (EACS) para medir las percepciones de competencia de los participantes y el Inventory de Estilos de Aprendizaje en Ciencias (IEAC), con el fin de controlar el efecto de las diferencias individuales en los enfoques de aprendizaje. La implementación del estudio se desarrolló siguiendo un protocolo estandarizado que garantizó la fidelidad del proceso y la comparabilidad de los datos entre participantes e instituciones. En este marco, el grupo de intervención recibió acceso estructurado a un conjunto diversificado de herramientas de inteligencia artificial generativa, específicamente seleccionadas para optimizar el

desarrollo de cada una de las competencias STEM evaluadas, tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Plataformas de IA generativa por competencia

Competencia	Plataforma	Funcionalidad Principal
Matemáticas	Wolfram Alpha	Cálculo simbólico
	Symbolab	Resolución paso a paso
Razonamiento	Perplexity	Búsqueda científica
	Bard	Formulación hipótesis
Resolución problemas	Claude	Marcos teóricos
Programación	GitHub Copilot	Asistencia codificación
Ánalisis datos	Julius AI	Modelado predictivo

Fuente: elaboración propia

Además, los participantes del grupo de intervención recibieron una capacitación especializada con una duración total de seis horas, distribuidas en tres sesiones de dos horas cada una, orientadas al uso efectivo de plataformas de inteligencia artificial generativa para el desarrollo de competencias STEM específicas. La primera sesión se centró en los fundamentos de la IA generativa y en el fortalecimiento de las competencias matemáticas, abordando técnicas de *prompt engineering* aplicadas a la resolución de problemas matemáticos, el uso de herramientas como Wolfram Alpha y Symbolab para cálculo avanzado, y la integración de modelos de lenguaje como ChatGPT-4 y Claude para la comprensión y explicación de conceptos matemáticos complejos. La segunda sesión estuvo orientada al razonamiento científico y a la resolución de problemas, e incluyó estrategias de búsqueda científica asistida por IA mediante plataformas como Perplexity y Consensus, la aplicación de herramientas como Bard para el análisis de fenómenos científicos, y el uso de metodologías de resolución sistemática de problemas con apoyo de inteligencia artificial. La tercera sesión se

enfocó en programación y análisis de datos, abordando el uso avanzado de herramientas de desarrollo como GitHub Copilot, el análisis estadístico asistido por IA mediante Julius AI y DataCamp Workspace, así como la discusión y aplicación de protocolos éticos y procedimientos de verificación de resultados generados por sistemas de inteligencia artificial.

Cada participante del grupo de intervención recibió un manual de buenas prácticas específico para cada plataforma utilizada, el cual incluyó estrategias para la verificación de respuestas, la identificación de limitaciones conocidas de cada herramienta y lineamientos éticos para su uso en contextos académicos. De manera complementaria, se implementó un sistema de monitoreo que registró patrones de uso de las herramientas de IA generativa sin comprometer la privacidad de los participantes, lo que permitió realizar análisis detallados sobre la efectividad diferencial de cada plataforma en función del tipo de competencia STEM evaluada. El grupo de control mantuvo acceso exclusivo a los recursos tradicionales de aprendizaje disponibles en ambas universidades, tales como bibliotecas digitales, laboratorios de cómputo convencionales y software educativo estándar. Estos participantes no recibieron capacitación formal en el uso de inteligencia artificial generativa, aunque no se les prohibió su utilización a nivel personal. Para controlar posibles efectos de contaminación, se implementaron mecanismos de monitoreo del uso no autorizado de IA generativa mediante autorreportes mensuales y análisis de patrones en la entrega de trabajos académicos.

Las mediciones se realizaron en entornos controlados, utilizando los laboratorios de computación de ambas universidades, con supervisión directa de asistentes de investigación capacitados específicamente para

este estudio. Cada sesión de evaluación tuvo una duración aproximada de 180 minutos, incluyendo pausas programadas para minimizar el efecto de la fatiga. Asimismo, se aplicaron protocolos estrictos de confidencialidad y anonimización de la información, asignando códigos únicos a cada participante con el fin de permitir el seguimiento longitudinal sin comprometer la privacidad individual. La estandarización de los procedimientos entre ambas instituciones se garantizó mediante la implementación de un manual operativo detallado, la realización de sesiones de capacitación uniformes para todos los asistentes de investigación y la ejecución de auditorías periódicas destinadas a verificar la fidelidad de la implementación del protocolo. Para comprobar la equivalencia inicial entre los grupos en la fase de pretest, se aplicaron pruebas *t* de Student en el caso de variables numéricas, como edad, rendimiento académico previo y puntajes iniciales en la BECS, así como pruebas de chi-cuadrado para variables categóricas, incluyendo género, nivel socioeconómico y distribución por carreras.

El análisis del impacto de la intervención se realizó mediante análisis de covarianza (ANCOVA), con el objetivo de comparar los puntajes postintervención ajustados entre los grupos, controlando el efecto del pretest y de otras covariables relevantes, como el rendimiento académico previo. Adicionalmente, se aplicó un análisis de varianza de medidas repetidas para examinar los cambios a lo largo de los tres momentos de medición (preintervención, tres meses y seis meses), evaluando específicamente la interacción grupo por tiempo para determinar si el efecto de la intervención difirió significativamente entre el grupo de intervención y el grupo de control a lo largo del período de estudio.

Resultados y Discusión

Análisis de equivalencia inicial entre grupos

Previo al análisis del impacto de la intervención, se evaluó la equivalencia inicial

entre el grupo de intervención y el grupo control mediante pruebas estadísticas apropiadas para cada tipo de variable. Los resultados de esta evaluación se presentan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Equivalencia inicial entre grupos: Variables numéricas

Variable	Grupo Intervención	Grupo Control	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>
	<i>M</i> (<i>DE</i>)	<i>M</i> (<i>DE</i>)			
Edad	20.28 (1.82)	20.32 (1.84)	-0.24	478	.812
Rendimiento académico previo	3.42 (0.58)	3.38 (0.61)	0.72	478	.472
BECS - Matemáticas	15.85 (3.24)	15.72 (3.18)	0.44	478	.658
BECS - Razonamiento científico	18.92 (4.11)	18.67 (4.05)	0.67	478	.502
BECS - Resolución problemas	12.34 (2.87)	12.18 (2.92)	0.61	478	.544
BECS - Programación	9.23 (2.45)	9.08 (2.51)	0.66	478	.511
BECS - Análisis datos	11.47 (3.02)	11.32 (2.98)	0.55	478	.585

Fuente: Elaboración propia. Nota. BECS = Batería de Evaluación de Competencias STEM; M = media; DE = desviación estándar; gl = grados de libertad

Los resultados de las pruebas *t* de Student para muestras independientes revelaron que no existían diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en ninguna de las variables numéricas evaluadas (todos los

valores *p* > .05). Estos hallazgos confirman la equivalencia inicial entre los grupos en variables clave como edad, rendimiento académico previo y puntajes basales en todas las dimensiones de competencias STEM evaluadas.

Tabla 3. Equivalencia inicial entre grupos: Variables categóricas

Variable	Grupo Intervención	Grupo Control	χ^2	<i>gl</i>	<i>p</i>
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)			
Género			0.38	1	.536
Femenino	126 (52.5)	123 (51.3)			
Masculino	114 (47.5)	117 (48.8)			
Nivel socioeconómico			1.24	2	.538
Bajo	98 (40.8)	94 (39.2)			
Medio	106 (44.2)	110 (45.8)			
Alto	36 (15.0)	36 (15.0)			
Distribución por carreras			2.18	4	.702
Ingenierías	61 (25.4)	59 (24.6)			
Ciencias exactas	47 (19.6)	49 (20.4)			
Computación	37 (15.4)	35 (14.6)			
Ciencias naturales	48 (20.0)	50 (20.8)			
Matemáticas aplicadas	47 (19.6)	47 (19.6)			

Fuente: Elaboración propia. Nota. Los grupos fueron equivalentes en todas las variables categóricas

Las pruebas de chi-cuadrado confirmaron que no existían diferencias significativas en la distribución de género ($\chi^2 = 0.38$, *p* = .536), nivel socioeconómico ($\chi^2 = 1.24$, *p* = .538), ni distribución por carreras ($\chi^2 = 2.18$, *p* = .702) entre ambos grupos, validando la equivalencia inicial necesaria para un diseño cuasi-experimental robusto.

Análisis de Covarianza (ANCOVA)

Se realizó un análisis de covarianza para cada dimensión de competencias STEM, controlando por los puntajes pre-intervención y el rendimiento académico previo. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de covarianza: Efecto de la IA generativa en competencias STEM

Dimensión	Grupo Intervención	Grupo Control	F	gl	p	$\eta^2 p$
	M ajustada (EE)	M ajustada (EE)				
Matemáticas	19.84 (0.18)	16.23 (0.18)	201.45	1, 476	<.001	.297
Razonamiento científico	24.67 (0.22)	19.45 (0.22)	278.32	1, 476	<.001	.369
Resolución problemas	16.92 (0.17)	12.84 (0.17)	289.76	1, 476	<.001	.378
Programación	12.58 (0.15)	9.34 (0.15)	232.11	1, 476	<.001	.328
Ánalysis datos	15.73 (0.19)	11.68 (0.19)	226.84	1, 476	<.001	.323

Fuente: Elaboración propia. Nota. Las medias están ajustadas por puntajes pre-intervención y rendimiento académico previo; EE = error estándar; $\eta^2 p$ = eta cuadrado parcial.

Los resultados del ANCOVA revelaron efectos estadísticamente significativos de la intervención con IA generativa en todas las dimensiones de competencias STEM evaluadas (todos los valores $p < .001$). Los tamaños del efecto fueron grandes según los criterios de Cohen (1988), variando desde $\eta^2 p = .297$ para matemáticas hasta $\eta^2 p = .378$ para resolución de problemas. La dimensión con mayor impacto fue resolución de problemas, seguida por razonamiento científico, mientras que matemáticas mostró el menor efecto, aunque aún sustancial.

Análisis de medidas repetidas

Para evaluar la evolución temporal del impacto de la IA generativa, se realizó un ANOVA de medidas repetidas con tres momentos de medición. A continuación, se presentan los resultados asociados a las medidas repetidas en la tabla 5.

Tabla 5. ANOVA de medidas repetidas: Efectos temporales de la IA generativa

Efecto	F	gl	p	$\eta^2 p$
Tiempo	847.23	2, 956	<.001	.639
Grupo	412.56	1, 478	<.001	.463
Tiempo \times Grupo	198.74	2, 956	<.001	.294

Fuente: Elaboración propia. Nota. Análisis basado en puntajes compuestos de

competencias STEM; corrección de esfericidad aplicada cuando fue necesaria.

El análisis reveló efectos principales significativos tanto del tiempo como del grupo, así como una interacción significativa tiempo \times grupo. Esta interacción indica que el patrón de cambio en competencias STEM difiere entre los grupos de intervención y control a lo largo del tiempo, sugiriendo que los efectos de la IA generativa se mantienen y potencialmente se incrementan durante el período de seguimiento.

Tabla 6. Medias y desviaciones estándar por tiempo y grupo

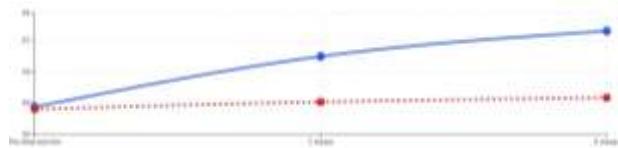
Momento	Grupo Intervención	Grupo Control
	M (DE)	M (DE)
Pre-intervención	67.81 (11.24)	67.15 (11.08)
3 meses	82.43 (12.67)	69.28 (11.45)
6 meses	89.74 (13.92)	70.51 (11.82)

Fuente: Elaboración propia. Nota. Puntajes basados en la suma de todas las dimensiones de competencias STEM (rango: 0-108).

Las medias por momento temporal muestran que mientras el grupo control mantuvo puntajes relativamente estables a lo largo del tiempo, el grupo de intervención experimentó incrementos progresivos sustanciales, con ganancias de 14.62 puntos a los 3 meses y 21.93 puntos a los

6 meses comparado con la línea base. La Figura 1 ilustra los puntajes compuestos de competencias STEM en los tres momentos de medición. Se evidencia un incremento progresivo en el grupo de intervención, en contraste con la estabilidad del grupo control. Esta tendencia respalda la interacción significativa tiempo \times grupo reportada en el análisis de medidas repetidas.

Figura 1. Evolución temporal de competencias STEM por grupo de estudio



Fuente: Elaboración propia. Nota. Los puntajes representan la suma total de competencias STEM (rango: 0-108). Las líneas sólidas indican el grupo de intervención, las líneas punteadas el grupo control.

Para evaluar la hipótesis central sobre efectos diferenciados según el nivel cognitivo, se categorizaron las competencias según la taxonomía de Bloom y se analizaron separadamente.

Tabla 7. Impacto de IA generativa por nivel cognitivo

Nivel Cognitivo	Grupo Intervención	Grupo Control	<i>d</i> de Cohen
	<i>M</i> (<i>DE</i>)	<i>M</i> (<i>DE</i>)	
Competencias Básicas			
(Conocimiento/Comprensión)	34.67 (5.23)	32.18 (4.98)	0.49
Competencias Superiores			
(Análisis/Síntesis/Evaluación)	44.28 (6.84)	35.92 (6.12)	1.28

Fuente: Elaboración propia. Nota. Competencias básicas incluyen elementos fundamentales de matemáticas y programación; competencias superiores incluyen razonamiento científico, resolución de problemas y análisis de datos.

Los resultados del presente estudio proporcionan evidencia empírica robusta sobre el impacto diferenciado de la inteligencia artificial generativa en el desarrollo de competencias STEM en estudiantes universitarios ecuatorianos. Los hallazgos principales confirman que la implementación estructurada de herramientas de IA generativa produce mejoras estadísticamente significativas y prácticamente relevantes en todas las dimensiones de competencias STEM evaluadas, con tamaños de efecto que varían desde grandes ($\eta^2 p = .297$ para matemáticas) hasta muy grandes ($\eta^2 p = .378$ para resolución de problemas). La confirmación de la hipótesis central sobre efectos diferenciados según el nivel cognitivo constituye un hallazgo particularmente significativo para la comprensión teórica del fenómeno. Los resultados demuestran que la IA generativa es especialmente efectiva para potenciar competencias de orden superior como el razonamiento científico, la resolución de problemas complejos y el análisis crítico de datos ($d = 1.28$), mientras que su impacto en competencias básicas de conocimiento y comprensión es más modesto ($d = 0.49$). Este patrón sugiere que la IA generativa actúa como un amplificador cognitivo que libera recursos mentales para procesos de pensamiento más sofisticados, consistente con las teorías de carga cognitiva y procesamiento distribuido (Sweller, 2011).

La persistencia y el incremento progresivo de los efectos a lo largo del tiempo, evidenciado por la interacción significativa tiempo \times grupo, indica que los beneficios de la IA generativa no se limitan a ganancias inmediatas sino que se acumulan y potencian durante un uso sostenido. Esta evidencia contradice las preocupaciones sobre efectos superficiales o dependencia contraproducente, sugiriendo más bien un

proceso de andamiaje cognitivo que fortalece gradualmente las capacidades de los estudiantes. Los resultados del presente estudio se alinean con los hallazgos de Liu et al. (2025), cuyo meta-análisis identificó efectos positivos de la IA generativa en el rendimiento STEM, aunque los tamaños de efecto reportados en nuestro estudio son considerablemente mayores. Esta diferencia puede atribuirse a la implementación estructurada y el entrenamiento específico proporcionado a los participantes, contrastando con el uso más espontáneo y menos sistematizado típico de otros estudios.

Las percepciones estudiantiles documentadas por Chan y Hu (2023) sobre beneficios significativos en resolución de problemas matemáticos y programación encuentran validación empírica en nuestros resultados, particularmente en las dimensiones de resolución de problemas ($\eta^2p = .378$) y programación ($\eta^2p = .328$). Sin embargo, nuestros hallazgos van más allá de las percepciones subjetivas al demostrar impactos objetivos medibles en competencias específicas. La divergencia entre perspectivas estudiantiles y docentes reportada por Kim et al. (2025) puede explicarse parcialmente por nuestros resultados sobre efectos diferenciados según el nivel cognitivo. Los docentes podrían estar más preocupados por el impacto en competencias básicas (donde nuestros resultados muestran efectos más modestos), mientras que los estudiantes experimentan más directamente los beneficios en competencias superiores (donde nuestros resultados muestran efectos muy grandes). Las líneas prioritarias de investigación futura incluyen estudios longitudinales que evalúen los efectos de la IA generativa en competencias STEM durante períodos extendidos (2-4 años) y su transferencia a contextos profesionales post-

graduación. Asimismo, estudios cualitativos que complementen los resultados cuantitativos podrían proporcionar comprensión más profunda sobre los procesos experienciales y las estrategias estudiantiles que median los efectos observados.

Conclusiones

Los hallazgos del presente estudio confirman que la implementación estructurada de inteligencia artificial generativa produce mejoras estadísticamente significativas y prácticamente relevantes en el desarrollo de competencias STEM en estudiantes universitarios. La hipótesis central sobre efectos diferenciados según el nivel cognitivo fue confirmada, demostrando que la IA generativa es especialmente efectiva para potenciar competencias de orden superior (análisis, síntesis, evaluación) con un tamaño de efecto muy grande ($d = 1.28$), mientras que su impacto en competencias básicas es más modesto aunque significativo ($d = 0.49$). La evidencia sobre efectos sostenidos y progresivos a lo largo del tiempo, con incrementos acumulativos en competencias STEM de 21.93 puntos a los seis meses, desafía las preocupaciones sobre dependencia contraproducente y sugiere que estas herramientas actúan como andamiaje cognitivo que fortalece las capacidades estudiantiles de manera duradera.

Los resultados contribuyen significativamente a la teoría del aprendizaje mediado por tecnología, evidenciando que la IA generativa opera como herramienta de mediación cognitiva que modifica cualitativamente los procesos de pensamiento. El patrón de efectos diferenciados apoya las teorías de carga cognitiva y procesamiento distribuido, sugiriendo que la IA generativa libera recursos mentales para procesos de pensamiento más sofisticados. Para las instituciones de educación superior, los

hallazgos indican que la integración sistemática de IA generativa en currículos STEM, mediante capacitación estructurada y uso guiado, puede generar mejoras sustanciales en competencias críticas para el desempeño profesional. Los educadores pueden aprovechar estos resultados para diseñar estrategias pedagógicas que maximicen los beneficios en competencias de pensamiento crítico y resolución de problemas complejos, manteniendo énfasis en el desarrollo de habilidades fundamentales mediante métodos tradicionales.

Referencias Bibliográficas

- Alotaibi, S. (2025). Determinants of generative artificial intelligence (GenAI) adoption among university students and its impact on academic performance: The mediating role of trust in technology. *Interactive Learning Environments*, 1–30. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2492785>
- Ayyoub, A., Khlaif, Z., Shamali, M., Eideh, B., Assali, A., Hattab, M., Barham, K., & Bsharat, T. (2025). Advancing higher education with GenAI: Factors influencing educator AI literacy. *Frontiers in Education*, 10, Article 1530721. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1530721>
- Chan, C., & Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: Perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, Article 43. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8>
- Chen, K., Tallant, A., & Selig, I. (2025). Exploring generative AI literacy in higher education: Student adoption, interaction, evaluation and ethical perceptions. *Information and Learning Sciences*, 126(1–2), 132–148. <https://doi.org/10.1108/ILS-10-2023-0160>
- Kim, J., Klopfer, M., & Pike, D. (2025). Examining faculty and student perceptions of generative AI in university courses. *Innovative Higher Education*. <https://doi.org/10.1007/s10755-024-09774-w>
- Lee, D., Arnold, M., Srivastava, A., Plastow, K., Strelan, P., Ploeckl, F., Lekkas, D., & Palmer, E. (2024). The impact of generative AI on higher education learning and teaching: A study of educators' perspectives. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100221. <https://doi.org/10.1016/j.caai.2024.100221>
- Liu, X., Guo, B., He, W., & Hu, X. (2025). Effects of generative artificial intelligence on K-12 and higher education students' learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/07356331251329185>
- Qian, Y. (2025). Pedagogical applications of generative AI in higher education: A systematic review of the field. *TechTrends*. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01100-1>
- Xia, Q., Weng, X., Ouyang, F., Lin, T., Chiu, T., Jering, L., Lam, J., & Shen, J. (2024). A scoping review on how generative artificial intelligence transforms assessment in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, Article 40. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00468-z>
- Yusuf, A., Pervin, N., & González, M. (2024). Generative AI and the future of higher education: A threat to academic integrity or reformation? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, Article 21. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00453-6>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Geovanny Francisco Ruiz Muñoz y Juan Carlos Vasco Delgado.

