

Revisión

Software basado en inteligencia artificial generativa para la enseñanza-aprendizaje de matemáticas: una revisión de literatura

Software based on Generative Artificial Intelligence for the Teaching-Learning of Mathematics: A Literature Review

Sonia Tatiana Cruz Laz ¹, Orlando Ramiro Erazo Moreta ², Valeria Dayanna Torres Lindao ³, Geovanny José Brito Casanova ^{4,*}

¹ Facultad de Ciencias de la Computación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0008-6010-7914>; scruzl@uteq.edu.ec

² Facultad de Ciencias de la Computación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0001-5642-9920>; orazo@uteq.edu.ec

³ Facultad de Ciencias de la Computación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0001-8778-2794>; vtorresl@uteq.edu.ec

⁴ Facultad de Ciencias de la Computación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0002-7715-7706>

* Correspondencia: gbritoc@uteq.edu.ec

Cita: Cruz Laz, S. T., Erazo Moreta, O. R., Torres Lindao, V. D., & Brito Casanova, G. J. (2026). Software basado en inteligencia artificial generativa para la enseñanza-aprendizaje de matemáticas: una revisión de literatura. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 4(1), 327-346. <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n1/132>

Recibido: 01/02/2026

Revisado: 03/03/2026


Aceptado: 04/03/2026

Publicado: 06/03/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. \(CC BY-NC\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n1/132>

Resumen: La inteligencia artificial generativa (IAGen) ha emergido como una tecnología con alto potencial para transformar el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemáticas, al posibilitar experiencias educativas más personalizadas e interactivas. Para organizar todas esas potencialidades, este artículo presenta una revisión de literatura sobre software educativo basado en IAGen aplicado a la educación matemática, considerando distintos niveles educativos y contextos de uso. A partir del análisis de artículos científicos, se identificaron y caracterizaron los principales tipos de software, incluyendo tutores inteligentes, agentes enseñables, generadores de contenidos y herramientas de retroalimentación y andamiaje. Asimismo, se sintetizó la evidencia sobre los beneficios reportados en términos de resultados de aprendizaje, compromiso estudiantil y apoyo a la labor docente, junto con los desafíos persistentes relacionados con la precisión matemática, la dependencia tecnológica, la equidad y las implicaciones éticas. El artículo también discute principios de diseño e implicaciones pedagógicas, destacando la importancia de la supervisión humana, el uso estructurado de la IAGen y la formación docente en alfabetización en inteligencia artificial. Finalmente, se identificaron brechas de investigación proponiendo líneas futuras orientadas a optimizar el diseño, la implementación y la evaluación de software basado en IAGen para la educación matemática.

Palabras clave: Inteligencia artificial generativa, educación matemática, tecnología educativa, métodos de enseñanza, procesos de aprendizaje

Abstract: Generative artificial intelligence (GenAI) has emerged as a technology with high potential to transform the teaching–learning process in mathematics by enabling more personalized and interactive educational experiences. To systematize these potentials, this article presents a literature review on GenAI-based educational software applied to mathematics education, considering different educational levels and usage contexts. Through the analysis of scientific articles, the main types of software were identified and characterized, including intelligent tutoring systems, teachable agents, content generators, and feedback and scaffolding tools. In addition, the evidence on reported benefits was synthesized in terms of learning outcomes, student engagement, and support for teaching practice, together with persistent challenges related to mathematical accuracy, technological dependence, equity, and ethical implications. The article also discusses design principles and pedagogical implications, highlighting the importance of human oversight, the structured use of GenAI, and teacher training in artificial intelligence literacy. Finally, research gaps are identified, and future research directions are proposed to optimize the design, implementation, and evaluation of GenAI-based software for mathematics education.

Keywords: Generative artificial intelligence; mathematics education; educational technology; teaching methods; learning processes

1. Introducción

La enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas han sido históricamente un desafío persistente en todos los niveles educativos, no solo por la complejidad intrínseca de los contenidos, sino también por factores afectivos, motivacionales y contextuales que influyen en la experiencia del estudiantado (Mutlu, 2019; Raj Acharya, 2017). Dificultades como la ansiedad matemática, la desmotivación y la brecha entre la instrucción formal y las necesidades individuales siguen afectando de manera significativa los resultados de aprendizaje y la equidad educativa (Mutlu, 2019; Raj Acharya, 2017). En este contexto, la incorporación de tecnologías digitales ha sido vista recurrentemente como una vía para transformar las prácticas educativas (Rane, 2023; Rizos et al., 2024). Sin embargo, no todas las innovaciones tecnológicas han logrado un impacto sostenido ni pedagógicamente significativo (Xasanovna, 2025).

En las últimas décadas, diversas soluciones tecnológicas han buscado responder a estos retos en la educación matemática. Los sistemas tutoriales inteligentes, las plataformas adaptativas, los entornos de práctica automatizada y los sistemas de evaluación asistida por computadora han mostrado avances importantes en personalización y retroalimentación (G. J. Hwang & Tu, 2021), aunque con limitaciones claras en flexibilidad, escalabilidad y capacidad de diálogo pedagógico. Más recientemente, la irrupción de la inteligencia artificial generativa (IAGen), especialmente a través de modelos de lenguaje de gran escala, ha ampliado el horizonte de posibilidades al permitir interacciones más naturales, generación dinámica de contenidos y retroalimentación en tiempo real (Daher & Anabousy, 2025; Walkington, 2025; Xing et al., 2025). Estudios empíricos y revisiones recientes sugieren que estas tecnologías pueden apoyar la resolución de problemas, la tutoría personalizada y la planificación docente, siempre que su uso esté cuidadosamente diseñado y contextualizado (Ma & Zhong, 2025; Rizos et al., 2024; X. Wang & Wei, 2025).

Aunque la evidencia muestra beneficios, el uso de software basado en IAGen en educación matemática plantea interrogantes relevantes que aún no han sido abordadas de forma sistemática. La literatura muestra resultados positivos en términos de desempeño y compromiso, pero también evidencia riesgos asociados a errores matemáticos, dependencia excesiva de la tecnología, falta de alineación curricular y

desafíos éticos relacionados con la equidad y la privacidad (Bastani et al., 2025; Y. Wang et al., 2025). Además, muchos estudios se centran en aplicaciones aisladas o contextos específicos, lo que dificulta una comprensión integrada de los tipos de software existentes, sus beneficios reales, sus limitaciones y las condiciones pedagógicas bajo las cuales resultan efectivos.

Ante esta situación, el problema concreto que aborda este trabajo es la falta de una síntesis estructurada y crítica del estado del arte sobre el software educativo basado en IAGen para la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, que integre evidencia empírica, principios de diseño y consideraciones pedagógicas. Sin una visión articulada, docentes, investigadores y responsables de políticas educativas carecen de referentes claros para tomar decisiones informadas sobre la adopción, el diseño y la implementación de estas tecnologías en contextos educativos reales.

Como respuesta a este problema, el presente artículo propone una revisión comprensiva y temática de la literatura reciente sobre software basado en IAGen aplicado a la educación matemática, con énfasis en sus tipos, beneficios reportados, desafíos, principios de diseño e implicaciones pedagógicas. La contribución principal de este trabajo radica en organizar y analizar críticamente la evidencia existente, destacando no solo los resultados positivos, sino también las condiciones necesarias para un uso efectivo y responsable. Asimismo, se identifican vacíos de investigación y líneas futuras que pueden orientar tanto el desarrollo de nuevas herramientas como la formulación de políticas y programas de formación docente (Biton et al., 2025; Daher & Anabousy, 2025; Farillon-Labis, 2025; Y. Wang et al., 2025; Xing et al., 2025).

El artículo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar, se presentan los principales tipos de software basado en IAGen utilizados en educación matemática, describiendo sus características y aplicaciones. A continuación, se analizan los beneficios y la efectividad reportados en la literatura, considerando resultados de aprendizaje, personalización y apoyo docente. Posteriormente, se discuten los principios de diseño y las implicaciones pedagógicas que emergen de los estudios revisados, junto con los desafíos y riesgos asociados. Finalmente, se desarrolla una discusión general que integra los hallazgos, se identifican brechas de investigación y se presentan las conclusiones principales del estudio.

2. Software basado en IAGen

El software basado en IAGen aplicado a la educación matemática abarca un conjunto diverso de herramientas que integran modelos generativos en contextos pedagógicos con distintos objetivos y niveles de intervención. Estas aplicaciones no se limitan a automatizar tareas existentes, sino que reconfiguran prácticas tradicionales como la tutoría, el diseño de actividades, la retroalimentación y la producción matemática creativa. La literatura reciente permite identificar tipologías relativamente estables de software basado en IAGen, cuya diferenciación resulta relevante para comprender tanto sus beneficios como sus limitaciones educativas.

Con el fin de sintetizar y organizar la diversidad de enfoques identificados en la literatura, la Tabla 1 presenta una clasificación de los principales tipos de software basado en IAGen utilizados en la educación matemática. Esta tabla resume, para cada tipo de herramienta, su propósito pedagógico predominante, el nivel educativo en el que ha sido estudiado con mayor frecuencia, el rol asignado a la IAGen dentro del proceso de

enseñanza-aprendizaje y el tipo de evidencia empírica reportada. La organización propuesta no pretende ser exhaustiva ni excluyente, sino que busca ofrecer un marco analítico que facilite la comparación entre distintas aplicaciones y que sirva como referencia para el análisis detallado que se desarrolla en las subsecciones siguientes.

Tabla 1

Tipos de software basado en IAGen en educación matemática

Tipo de software con IAGen	Propósito pedagógico principal	Nivel educativo predominante	Rol de la IAGen	Evidencia empírica reportada
Agentes enseñables y tutores inteligentes	Fomentar el aprendizaje por enseñanza, tutoría personalizada y diálogo socrático	Educación secundaria	Compañero de aprendizaje, agente enseñable, tutor adaptativo	Mejores ganancias de conocimiento frente a grupos control; alta usabilidad y compromiso; percepción de roles múltiples (facilitador, colaborador) (Song, Kim, Liu, et al., 2025; Xing et al., 2025)
Generadores de lecciones y hojas de trabajo	Apoyar la planificación docente y la adaptación curricular	Primaria, secundaria y educación especial	Asistente de diseño didáctico	Generación de lecciones coherentes; mejoras en compromiso y actitudes; alta utilidad para estudiantes con NEE cuando hay personalización y supervisión docente (Daher & Anabousy, 2025; Malik et al., 2025; Rizo et al., 2024)
Generación automática de problemas y evaluación	Crear, resolver y explicar problemas matemáticos; apoyar práctica y evaluación	Secundaria y educación superior	Generador de contenido matemático y solucionador	Problemas y soluciones a nivel humano en matemáticas avanzadas; mejora del aprendizaje con contextualización y control de dificultad; calidad dependiente del prompting (Drori et al., 2022; W. Y. Hwang & Utami,

				2024; Utami et al., 2024; Yu et al., 2025)
Herramientas de retroalimentación y andamiaje	Proporcionar feedback formativo y reducir carga cognitiva	Educación básica y secundaria	Proveedor de retroalimentación estructurada y adaptativa	Rendimiento comparable a retroalimentación humana; menor carga cognitiva; apoyo eficiente cuando se integra en enfoques híbridos humano-IA (Cosentino et al., 2025; Malik et al., 2025)
Plataformas creativas y colaborativas	Promover formulación de problemas, escritura matemática y pensamiento crítico	Primaria, secundaria y formación docente	Mediador creativo y colaborativo	Mayor compromiso y desarrollo del lenguaje matemático; mejoras en TPACK docente; riesgos de autenticidad, sesgos y superficialidad sin mediación pedagógica (Biton et al., 2025; Biton & Segal, 2025; Walkington et al., 2025)

2.1. Agentes enseñables y tutores inteligentes

Los agentes enseñables y tutores inteligentes constituyen una de las aproximaciones más estudiadas dentro del software educativo basado en IAGen. En términos generales, estos sistemas simulan un interlocutor pedagógico capaz de sostener interacciones en lenguaje natural, adaptarse al progreso del estudiante y orientar el aprendizaje mediante preguntas, explicaciones parciales y retroalimentación contextualizada. En el caso específico de los agentes enseñables, el estudiante asume el rol de “enseñar” al sistema, lo que activa procesos metacognitivos asociados al aprendizaje por enseñanza.

ALTER-Math representa un ejemplo paradigmático de esta categoría, al integrar IAGen para potenciar prácticas de aprendizaje mediante la enseñanza en matemáticas de nivel secundario. Un estudio basado en investigación de diseño reporta que, tras varias iteraciones de implementación en aulas reales, los estudiantes que utilizaron ALTER-Math mostraron mejoras significativas en su conocimiento matemático en comparación con un grupo de control (Xing et al., 2025). Estos resultados se complementan con evidencias de altos niveles de usabilidad y compromiso percibido por parte de

estudiantes y docentes, lo que refuerza la viabilidad de este tipo de sistemas en contextos escolares auténticos (Xing et al., 2025).

Desde la perspectiva del estudiante, los agentes enseñables con IAGen son percibidos no solo como receptores pasivos de conocimiento, sino como compañeros de aprendizaje, facilitadores y colaboradores en la resolución de problemas. Un estudio cualitativo con estudiantes de educación media revela que los usuarios atribuyen múltiples roles pedagógicos a estos agentes, al tiempo que reconocen desafíos relacionados con la precisión matemática y la necesidad de orientación docente (Song, Kim, Liu, et al., 2025). En conjunto, la evidencia sugiere que la efectividad de estos sistemas depende tanto de la capacidad generativa del modelo como del diseño pedagógico que regula la interacción.

2.2. Generadores de lecciones y hojas de trabajo

Los generadores de lecciones y hojas de trabajo basados en IAGen constituyen otra tipología ampliamente documentada en la literatura reciente. Este tipo de software utiliza modelos de lenguaje generativo para producir materiales didácticos alineados con contenidos curriculares, incluyendo planes de clase, actividades introductorias y ejercicios diferenciados. Su principal valor pedagógico radica en el apoyo al docente en tareas de planificación y adaptación curricular.

Estudios que analizan el desempeño de herramientas como ChatGPT, Gemini, Claude y Perplexity muestran que estos sistemas son capaces de generar lecciones matemáticas coherentes y estructuradas, con una comprensión funcional de métodos, estrategias y técnicas didácticas (Daher & Anabousy, 2025). No obstante, se observan diferencias en la forma en que los modelos conceptualizan estos elementos, lo que sugiere limitaciones en su conocimiento didáctico profundo. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de que el profesorado evalúe críticamente los materiales generados antes de su implementación.

En contextos de educación inclusiva, la generación personalizada de hojas de trabajo mediante IAGen ha mostrado resultados particularmente prometedores. Un estudio de caso con estudiantes con necesidades educativas especiales reporta mejoras en la participación, la confianza y la actitud hacia las matemáticas cuando se utilizan materiales adaptados generados por ChatGPT (Rizos et al., 2024). De manera complementaria, investigaciones sobre andamiaje curricular indican que, cuando los modelos reciben contexto suficiente y prompts informados por expertos, pueden producir tareas de alta calidad, incluso valoradas por encima de las creadas por docentes experimentados en ciertos criterios (Malik et al., 2025).

2.3. Generación automática de problemas y evaluación

La generación automática de problemas matemáticos y la evaluación asistida por IAGen conforman una tercera categoría relevante. Estos sistemas combinan modelos de lenguaje de gran escala con técnicas de síntesis de programas para crear, resolver y explicar problemas matemáticos en distintos niveles educativos. Su uso se orienta tanto al diseño de prácticas como al apoyo en procesos evaluativos.

Investigaciones centradas en educación matemática avanzada muestran que la IAGen puede generar problemas de calidad variable, pero que su desempeño mejora

notablemente cuando se proporcionan ejemplos y contexto disciplinar específico (Yu et al., 2025). En este sentido, la calidad del resultado no depende únicamente del modelo, sino de la estrategia de interacción empleada por el usuario. Estos hallazgos permiten comprender el potencial real de estas herramientas en escenarios educativos.

Desde una perspectiva técnica, estudios que utilizan modelos como Codex demuestran que la combinación de generación de código y razonamiento matemático permite resolver y explicar problemas universitarios con niveles de precisión cercanos al desempeño humano (Drori et al., 2022). Asimismo, sistemas orientados a la generación de problemas contextualizados en geometría muestran mejoras significativas en el aprendizaje cuando incorporan personalización y contextos auténticos (G. J. Hwang & Tu, 2021; Utami et al., 2024). No obstante, la literatura también advierte que el uso de estas herramientas en evaluación formal requiere cautela debido a implicaciones éticas y pedagógicas.

2.4. Herramientas de retroalimentación y andamiaje

Las herramientas de retroalimentación y andamiaje basadas en IAGen se centran en ofrecer apoyo formativo durante la resolución de tareas matemáticas. A diferencia de los sistemas orientados a la generación de contenido, estas aplicaciones intervienen directamente en el proceso cognitivo del estudiante, proporcionando pistas, preguntas guiadas o explicaciones parciales. Su diseño busca sostener el aprendizaje sin sustituir el razonamiento del alumno.

Evidencia empírica en entornos de aprendizaje incorporado muestra que la retroalimentación generada por IAGen puede ser tan efectiva como la retroalimentación humana en términos de desempeño (Cosentino et al., 2025). Además, se reporta una reducción significativa de la carga cognitiva y diferencias en las estrategias de procesamiento de la información visual (Cosentino et al., 2025). Estos resultados sugieren que la IAGen puede contribuir a experiencias de aprendizaje más eficientes cuando se integra de forma estructurada.

Desde una perspectiva curricular, estudios sobre andamiaje con modelos de lenguaje destacan que la calidad de la retroalimentación mejora cuando el sistema recibe información contextual detallada y sigue procesos inspirados en la práctica docente experta (Malik et al., 2025). En conjunto, estos trabajos refuerzan la idea de que la IAGen es más efectiva como complemento del juicio pedagógico humano que como sustituto de la interacción docente.

2.5. Plataformas creativas y colaborativas

Las plataformas creativas y colaborativas con IAGen representan una aproximación distinta al aprendizaje matemático, centrada en la producción, el lenguaje y la exploración conceptual. Estas herramientas promueven actividades abiertas como la formulación de problemas, la escritura matemática creativa y el uso de narrativas para expresar ideas matemáticas. Su objetivo principal es ampliar las formas de participación y expresión en matemáticas.

Estudios con alumnos de educación media muestran que el uso de IAGen en actividades de formulación de problemas favorece el compromiso y el pensamiento crítico, aunque también revela limitaciones relacionadas con la autenticidad de los problemas

generados y posibles sesgos en los resultados (Walkington et al., 2025). Desde la formación docente, investigaciones con futuros profesores indican que la interacción con IAGen puede fortalecer el conocimiento pedagógico del contenido y las habilidades de diseño de tareas matemáticas (Biton & Segal, 2025). En niveles de educación primaria, investigaciones cualitativas destacan que tanto estudiantes como docentes perciben positivamente el uso de IAGen para apoyar la escritura matemática creativa. Sin embargo, estos estudios también subrayan la importancia de un diseño cuidadoso y de una mediación pedagógica activa para evitar usos superficiales de la tecnología (Song, Kim, Xing, et al., 2025). En conjunto, esta línea de trabajo posiciona a la IAGen como un mediador creativo más que como un solucionador automático de problemas.

3. Efectos en la enseñanza-aprendizaje

La literatura reciente coincide en que el software educativo basado en IAGen presenta un conjunto de beneficios relevantes para la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. Estos beneficios abarcan dimensiones cognitivas, afectivas y pedagógicas, y han sido documentados mediante estudios empíricos, revisiones sistemáticas y metaanálisis en distintos niveles educativos. No obstante, la evidencia también sugiere que la magnitud y naturaleza de los efectos dependen del tipo de herramienta, del diseño instruccional y del rol que asumen docentes y estudiantes en la interacción con la IAGen. A continuación, se desarrollan algunos de tales beneficios.

3.1. Resultados de aprendizaje y desempeño cognitivo

La literatura da muestras de que la incorporación de IAGen en contextos educativos produce efectos positivos estadísticamente significativos en los resultados de aprendizaje. En particular, metaanálisis recientes reportan mejoras en resultados cognitivos, desarrollo de competencias y variables afectivas, siendo las áreas de matemáticas y ciencias aquellas donde se observan los tamaños de efecto más elevados (Ma & Zhong, 2025; Rizos et al., 2024; X. Wang & Wei, 2025; Xing et al., 2025). Estos resultados sugieren una afinidad entre las capacidades generativas de la IA — como la explicación paso a paso y la adaptación del contenido— y las demandas cognitivas propias del aprendizaje matemático.

A nivel empírico, investigaciones controladas indican que herramientas basadas en IAGen pueden mejorar la comprensión conceptual y procedimental cuando se integran en actividades estructuradas. En estudios cuasi-experimentales y de intervención prolongada, los estudiantes que utilizaron sistemas con retroalimentación generativa y andamiaje adaptativo mostraron un desempeño superior frente a condiciones tradicionales, especialmente en tareas de resolución de problemas y razonamiento matemático (Rizos et al., 2024; X. Wang & Wei, 2025). Sin embargo, la literatura enfatiza que estos efectos no deben interpretarse como universales ni independientes del contexto pedagógico.

3.2. Personalización del aprendizaje, compromiso y variables afectivas

Uno de los beneficios más consistentemente reportados del software con IAGen es su capacidad para facilitar experiencias de aprendizaje personalizadas. Mediante la generación dinámica de tareas, ejemplos y explicaciones, estas herramientas permiten ajustar el nivel de dificultad y el tipo de apoyo a las necesidades individuales de los estudiantes (Börekci et al., 2025; Rizos et al., 2024; Shi, 2024). Esta personalización se

ha asociado con incrementos en la motivación, el compromiso y la percepción de autoeficacia en matemáticas.

Adicionalmente, varios estudios reportan una reducción de la ansiedad matemática cuando los estudiantes interactúan con sistemas generativos que ofrecen retroalimentación inmediata y no evaluativa (X. Wang & Wei, 2025; Y. Wang et al., 2025). En contextos de educación especial y atención a la diversidad, la generación de materiales adaptados ha mostrado efectos positivos en la actitud hacia las matemáticas y en la confianza del alumnado, particularmente en estudiantes con necesidades educativas especiales (Rizos et al., 2024; Shi, 2024). Estos hallazgos refuerzan el potencial de la IAGen como herramienta para promover entornos de aprendizaje más accesibles y emocionalmente seguros.

3.3. Apoyo al profesorado y desarrollo profesional docente

La efectividad del software basado en IAGen no se limita al aprendizaje estudiantil, sino que también se manifiesta en el ámbito docente. La literatura documenta que estas herramientas pueden apoyar a los profesores en la planificación de clases, el diseño de tareas, la elaboración de evaluaciones y la adaptación curricular, reduciendo el tiempo dedicado a tareas rutinarias y ampliando el repertorio didáctico disponible (Aqazade et al., 2025; Daher & Anabousy, 2025; Lu et al., 2024; Oh, 2025). Desde la perspectiva del desarrollo profesional, varios estudios reportan mejoras en el conocimiento pedagógico del contenido tecnológico (TPACK) de docentes y futuros docentes que utilizan herramientas generativas de manera reflexiva (Biton et al., 2025; Börekci et al., 2025; Farillon-Labis, 2025; Zhuang & Zhang, 2025). Asimismo, investigaciones basadas en modelos de aceptación tecnológica indican que la percepción de utilidad y la confianza en el uso de la IAGen influyen significativamente en su adopción sostenible en la enseñanza de las matemáticas (Börekci et al., 2025; Y. Wang et al., 2025; Zhuang & Zhang, 2025). No obstante, los autores coinciden en que estos beneficios requieren formación específica y acompañamiento pedagógico.

3.4. Retroalimentación formativa y apoyo al proceso de aprendizaje

Un aspecto que emerge con fuerza en la literatura es el papel de la IAGen como proveedor de retroalimentación formativa. Estudios recientes muestran que la retroalimentación generada automáticamente puede ser comparable, en términos de efectividad, a la retroalimentación humana, especialmente cuando se centra en procesos y no solo en respuestas finales (Cosentino et al., 2025; Malik et al., 2025). En entornos digitales y corporeizados, este tipo de apoyo ha demostrado reducir la carga cognitiva y favorecer un aprendizaje más eficiente. Sin embargo, la evidencia también señala que la calidad de la retroalimentación depende en gran medida del diseño del sistema y de las restricciones impuestas al modelo generativo. La retroalimentación abierta y no guiada puede derivar en explicaciones superficiales o en dependencia excesiva del sistema, mientras que los enfoques con andamiaje explícito tienden a preservar el razonamiento matemático y la metacognición del estudiante (Malik et al., 2025; Shi, 2024).

Para sintetizar los principales beneficios y tipos de evidencia reportados en la literatura, la Tabla 2 presenta un resumen de los efectos asociados al uso de software basado en IAGen en la educación matemática. La tabla organiza los hallazgos según la dimensión

impactada, el tipo de beneficio identificado y las fuentes que lo respaldan, facilitando una visión comparativa de los resultados discutidos en esta sección.

Tabla 2

Beneficios y efectividad reportados del software basado en IAGen en educación matemática

Dimensión	Beneficios reportados	Tipo de evidencia	Citas
Resultados de aprendizaje	Mejora del rendimiento cognitivo y desarrollo de competencias matemáticas	metaanálisis y estudios empíricos	(Ma & Zhong, 2025; Rizos et al., 2024; X. Wang & Wei, 2025; Xing et al., 2025)
Variables afectivas	Mayor motivación, reducción de ansiedad matemática, aumento de autoeficacia	Estudios cuasiexperimentales	(Rizos et al., 2024; Shi, 2024; X. Wang & Wei, 2025; Y. Wang et al., 2025)
Personalización	Adaptación de tareas y contenidos a necesidades individuales	Estudios de intervención y diseño	(Börekcı et al., 2025; Rizos et al., 2024; Shi, 2024)
Apoyo docente	Mejora en planificación, diseño de tareas y evaluación	Estudios con docentes y futuros docentes	(Aqazade et al., 2025; Biton et al., 2025; Börekcı et al., 2025; Daher & Anabousy, 2025; Farillon-Labis, 2025; Lu et al., 2024; Oh, 2025; Zhuang & Zhang, 2025)
Retroalimentación	Feedback formativo efectivo y reducción de carga cognitiva	Estudios experimentales	(Cosentino et al., 2025; Malik et al., 2025)

4. Desafíos, riesgos y limitaciones del uso de IAGen

El uso de software basado en IAGen en la educación matemática ha mostrado beneficios relevantes, pero también introduce un conjunto de desafíos, riesgos y limitaciones que deben ser tomados en consideración. La literatura reciente coincide en que estos sistemas no pueden ser comprendidos únicamente como herramientas neutrales de apoyo al aprendizaje, sino como tecnologías con implicaciones pedagógicas, cognitivas, éticas y organizacionales complejas. En el ámbito específico de las matemáticas, estas tensiones se intensifican debido a la naturaleza formal, abstracta y acumulativa del conocimiento matemático (Rane, 2023; Walkington, 2025; Zhu, 2025). Por ello, esta sección aborda los principales riesgos reportados en el estado del arte, agrupados en torno a la fiabilidad del contenido, los efectos sobre el aprendizaje a largo plazo, y las preocupaciones éticas, de equidad y adopción institucional.

4.1. Precisión, fiabilidad y validez matemática del contenido generado

Uno de los riesgos más consistentemente documentados en la literatura es la falta de fiabilidad matemática del contenido generado por sistemas de IAGen. Diversos estudios señalan que, aunque estos sistemas pueden producir explicaciones plausibles y bien estructuradas, no garantizan corrección matemática, especialmente en tareas que involucran razonamiento formal, demostraciones, geometría o interpretación visual (Rane, 2023; Walkington, 2025; Zhu, 2025). Este problema se agrava cuando los errores no son evidentes para estudiantes con menor dominio conceptual, lo que puede conducir a la internalización de concepciones incorrectas.

Investigaciones centradas en la generación de lecciones y tareas matemáticas muestran que los modelos de IAGen presentan inconsistencias en su comprensión didáctica, particularmente al distinguir entre métodos, estrategias y técnicas de enseñanza (Daher & Anabousy, 2025). Estas ambigüedades no solo afectan la calidad del material generado, sino que también trasladan una carga adicional al docente, quien debe validar, corregir y adaptar el contenido antes de su uso en el aula. En estudios con formación docente, se destaca que la supervisión humana sigue siendo indispensable para asegurar la coherencia curricular y la adecuación al nivel cognitivo de los estudiantes (Oh, 2025). Desde una perspectiva más amplia, la literatura advierte que la aparente fluidez discursiva de la IAGen puede generar una ilusión de corrección, dificultando que tanto estudiantes como docentes detecten errores conceptuales o razonamientos incompletos (Rane, 2023). Esto plantea un riesgo pedagógico significativo si las herramientas son utilizadas sin mecanismos de verificación o sin una alfabetización matemática y tecnológica adecuada.

4.2. Dependencia excesiva, uso acrítico y erosión de habilidades cognitivas

Otro eje crítico identificado en la literatura se relaciona con el riesgo de dependencia excesiva de la IAGen por parte de los estudiantes. Varios autores señalan que el acceso irrestricto a soluciones paso a paso, explicaciones automáticas o generación instantánea de respuestas puede debilitar el desarrollo de habilidades fundamentales, como el razonamiento matemático, la resolución autónoma de problemas y la metacognición (Bastani et al., 2025; Rane, 2023; Zhu, 2025). Este riesgo es especialmente relevante en contextos donde la IAGen se utiliza como sustituto del esfuerzo cognitivo, en lugar de como un andamiaje pedagógico.

Estudios en formación inicial docente también evidencian esta tensión. Aunque el uso de herramientas generativas incrementa la confianza y la creatividad en el diseño de lecciones, los propios participantes reconocen el peligro de caer en un uso superficial o acrítico del contenido generado (Oh, 2025). De manera similar, investigaciones sobre la adopción de IAGen en educación escolar subrayan la necesidad de establecer límites pedagógicos claros, así como actividades estructuradas que promuevan la reflexión y el control consciente del uso de la tecnología (Y. Wang et al., 2025). Los estudios apuntan a que la clave no radica en restringir el acceso a la IAGen, sino en diseñar estrategias de integración guiada, donde el estudiante interactúe críticamente con las respuestas generadas, contraste soluciones y justifique procesos matemáticos (Rane, 2023; Walkington, 2025). Sin este enfoque, el uso prolongado de estas herramientas podría comprometer la calidad del aprendizaje a largo plazo.

4.3. Consideraciones éticas, de privacidad, equidad y adopción institucional

Las preocupaciones éticas y sociales constituyen otro conjunto de desafíos relevantes. Diversos estudios destacan riesgos asociados a la privacidad de los datos, el uso no transparente de información estudiantil y la falta de claridad sobre los mecanismos de entrenamiento de los modelos generativos (Rane, 2023; Walkington, 2025). Estas cuestiones adquieren especial importancia en contextos educativos donde participan menores de edad o poblaciones vulnerables. Asimismo, la literatura subraya problemas relacionados con la integridad académica, dado que la IAGen puede facilitar prácticas como el plagio o la delegación completa de tareas cognitivas, si no se redefinen adecuadamente los criterios de evaluación (Zhu, 2025). Desde la perspectiva docente, estas preocupaciones influyen directamente en la aceptación y adopción de la tecnología. Estudios basados en modelos como Technology Acceptance Model y Theory of Planned Behavior muestran que la falta de conciencia sobre los riesgos, junto con una baja percepción de control, limita el uso efectivo de la IAGen en la enseñanza de las matemáticas (Y. Wang et al., 2025).

Adicionalmente, varios autores advierten sobre el riesgo de ampliar brechas de inequidad, especialmente en contextos con acceso limitado a infraestructura tecnológica o formación docente especializada (Rane, 2023; Zhu, 2025). La adopción de IAGen sin políticas institucionales claras puede beneficiar solo a ciertos grupos, reproduciendo desigualdades existentes en el sistema educativo. Finalmente, la Tabla 3 presenta una visión comparativa de los tipos de limitaciones e implicaciones pedagógicas identificadas, permitiendo visualizar las tensiones que emergen del uso de software con IAGen.

Tabla 3

Desafíos, riesgos y limitaciones del uso de IAGen en la educación matemática

Tipo de desafío	Descripción principal	Implicaciones educativas	Citas
Precisión y fiabilidad	Errores conceptuales, razonamientos incompletos y ambigüedades didácticas en el contenido generado	Necesidad de validación docente y alfabetización crítica	(Daher & Anabousy, 2025; Rane, 2023; Walkington, 2025; Zhu, 2025)
Dependencia cognitiva	Uso acrítico de la IAGen como sustituto del razonamiento matemático	Riesgo de aprendizaje superficial y erosión de habilidades	(Oh, 2025; Rane, 2023; Zhu, 2025)
Integridad académica	Facilita prácticas de plagio y delegación cognitiva	Rediseño de evaluaciones y criterios de autoría	(Walkington, 2025; Zhu, 2025)
Ética y privacidad	Uso de datos, sesgos algorítmicos y falta de transparencia	Necesidad de marcos éticos y políticas institucionales	(Rane, 2023; Walkington, 2025)
Equidad y adopción	Acceso desigual y resistencia docente	Formación docente y políticas de	(Y. Wang et al., 2025; Zhu, 2025)

5. Principios de diseño e implicaciones pedagógicas

La evidencia analizada sugiere que los beneficios del software basado en IAGen en la educación matemática no dependen únicamente de la tecnología, sino también de cómo esta es diseñada e integrada pedagógicamente. Los estudios revisados coinciden en que la IAGen puede potenciar el aprendizaje, la enseñanza y la formación docente solo cuando se inserta dentro de marcos pedagógicos explícitos, con roles bien definidos para docentes y estudiantes (Bastani et al., 2025; Oh, 2025; Walkington, 2025; Xing et al., 2025). Esta sección sintetiza los principales principios de diseño y las implicaciones pedagógicas obtenidos de la revisión del estado del arte.

5.1. Supervisión humana y alineación pedagógica

Uno de los principios más reiterados en la literatura es la centralidad del docente en cualquier implementación efectiva de IAGen. Estudios empíricos y de diseño muestran que la supervisión humana es indispensable para garantizar la corrección matemática, la coherencia didáctica y la alineación con los objetivos curriculares (Daher & Anabousy, 2025; Farillon-Labis, 2025; Oh, 2025; Xing et al., 2025). En particular, investigaciones basadas en diseño, como el desarrollo del agente enseñable ALTER-Math, evidencian que los mayores beneficios se alcanzan cuando el sistema de IAGen opera dentro de una arquitectura pedagógica claramente definida y validada por el profesorado (Xing et al., 2025).

Desde la perspectiva de la planificación y el diseño de lecciones, los modelos generativos son capaces de producir materiales estructurados y aparentemente coherentes, pero presentan limitaciones en su conocimiento didáctico profundo, especialmente al distinguir entre métodos, estrategias y técnicas de enseñanza (Daher & Anabousy, 2025). Por ello, diversos autores enfatizan que la IAGen debe concebirse como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones docentes, y no como un sustituto del juicio profesional (Oh, 2025; Walkington, 2025). Esta necesidad de supervisión también se refleja en estudios sobre adopción docente, donde la percepción de control y la conciencia de las limitaciones del sistema influyen directamente en el uso responsable de la tecnología (Y. Wang et al., 2025).

5.2. Uso andamiado, guiado y contextualizado de la IA generativa

Un segundo principio se relaciona con la importancia de diseñar interacciones estructuradas entre los estudiantes y los sistemas de IAGen. La evidencia muestra que el uso no guiado o sin restricciones puede tener efectos negativos sobre el aprendizaje a largo plazo, mientras que los enfoques basados en andamiaje pedagógico tienden a maximizar los beneficios y minimizar los riesgos (Bastani et al., 2025; Y. Wang et al., 2025). En este sentido, el diseño de prompts estructurados, el uso de diálogo socrático y la provisión de retroalimentación contextualizada emergen como estrategias particularmente efectivas.

Estudios experimentales en educación secundaria demuestran que los sistemas de IAGen con salvaguardas pedagógicas fomentan el razonamiento matemático y evitan la

dependencia cognitiva, en contraste con interfaces tipo “ChatGPT libre” que incentivan el uso de la IA como atajo (Bastani et al., 2025). De manera complementaria, investigaciones sobre generación automática de tareas y problemas matemáticos muestran que la calidad del contenido mejora sustancialmente cuando los modelos reciben contexto curricular explícito, ejemplos y criterios claros de dificultad y propósito didáctico (W. Y. Hwang & Utami, 2024; Malik et al., 2025; Yu et al., 2025). Asimismo, trabajos centrados en la formación docente destacan que el proceso de redacción, evaluación y refinamiento de prompts no solo mejora los resultados generados por la IA, sino que también fortalece el conocimiento tecnológico-pedagógico del profesorado y su capacidad para diseñar tareas matemáticas de mayor calidad (Aqazade et al., 2025; Biton & Segal, 2025). En este marco, la IAGen actúa como un catalizador del pensamiento didáctico, siempre que el proceso esté mediado por reflexión crítica.

5.3. Desarrollo profesional docente y alfabetización en IA

La literatura revisada subraya de forma consistente que la integración sostenible de la IAGen en la educación matemática requiere programas sistemáticos de formación docente. Diversos estudios empíricos muestran que la capacitación en alfabetización en IA, evaluación crítica de resultados y diseño de prompts tiene efectos positivos sobre la autoeficacia docente, el pensamiento de orden superior y la disposición a adoptar estas tecnologías (Börekci et al., 2025; Lu et al., 2024; Zhuang & Zhang, 2025). Sin esta formación, los docentes tienden a subutilizar la IAGen o a emplearla de manera instrumental y superficial.

Investigaciones con docentes en formación inicial y formadores de profesores revelan que el uso reflexivo de la IAGen contribuye al desarrollo del TPACK, especialmente cuando se emplea para analizar eventos pedagógicos complejos, anticipar dificultades conceptuales y explorar múltiples enfoques didácticos (Biton et al., 2025; Farillon-Labis, 2025). No obstante, estos mismos estudios enfatizan que la formación debe incluir dimensiones éticas, críticas y contextuales, particularmente en entornos con recursos limitados.

Desde una perspectiva institucional, la literatura sugiere que el desarrollo profesional debe ir acompañado de políticas claras de uso, lineamientos éticos y espacios de reflexión colectiva que permitan a los docentes compartir experiencias y construir criterios comunes para la integración de la IAGen (Farillon-Labis, 2025; Y. Wang et al., 2025). De este modo, la tecnología se incorpora como parte de una cultura pedagógica compartida, y no como una innovación aislada.

6. Discusión

6.1. Efectividad y condiciones pedagógicas

El cuerpo de investigación sobre software educativo basado en IAGen para la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas muestra un campo sólido, diverso y en rápida consolidación. La evidencia empírica disponible, que incluye estudios experimentales, investigaciones de diseño y revisiones sistemáticas, converge en señalar que la IAGen puede mejorar de manera significativa los resultados de aprendizaje, la motivación y la participación estudiantil cuando se integra de forma pedagógicamente fundamentada (Ma & Zhong, 2025; Rizo et al., 2024; X. Wang & Wei, 2025; Xing et al., 2025). Estos hallazgos son consistentes en distintos niveles educativos

y contextos, lo que refuerza la relevancia del fenómeno para la educación matemática contemporánea.

Un patrón transversal en los estudios revisados es que los mayores beneficios no provienen del uso irrestricto de la IAGen, sino de implementaciones cuidadosamente diseñadas que combinan capacidades adaptativas del sistema con supervisión docente, prompts estructurados y alineación curricular explícita (Biton et al., 2025; Daher & Anabousy, 2025; Farillon-Labis, 2025; Oh, 2025; Walkington, 2025; Y. Wang et al., 2025; Xing et al., 2025). En este sentido, los enfoques que posicionan a la IA como tutor guiado, agente enseñable o asistente de diseño didáctico muestran resultados más consistentes que aquellos que la conciben como un simple generador de respuestas. Esta evidencia refuerza la idea de que el valor educativo de la IAGen es fundamentalmente pedagógico y no meramente tecnológico.

6.2. Limitaciones, riesgos y desafíos éticos

Desde otra perspectiva, el estado del arte también revela limitaciones persistentes. Diversos estudios documentan problemas de precisión matemática, especialmente en dominios complejos como demostraciones, geometría o tareas que requieren razonamiento visual, lo que obliga a mantener mecanismos de validación humana (Bastani et al., 2025; Daher & Anabousy, 2025; Rane, 2023; Svičević et al., 2025). Además, investigaciones de campo alertan sobre el riesgo de dependencia cognitiva cuando los estudiantes utilizan herramientas generativas sin andamiaje adecuado, lo que puede afectar negativamente el desarrollo del razonamiento matemático independiente a largo plazo (Bastani et al., 2025; Y. Wang et al., 2025). Estos resultados matizan las narrativas excesivamente optimistas y subrayan la necesidad de diseños con salvaguardas pedagógicas.

Desde una perspectiva ética y social, la literatura presenta preocupaciones relevantes en torno a privacidad de datos, integridad académica, sesgos algorítmicos y brechas de acceso, particularmente en contextos educativos con recursos limitados (Bani-Mattar, 2025; Ma & Zhong, 2025; Rane, 2023; Y. Wang et al., 2025; Zhu, 2025). Aunque estos temas suelen abordarse de manera conceptual o normativa, aún existe escasa evidencia empírica sobre cómo estas problemáticas se manifiestan en la práctica cotidiana del aula de matemáticas. Esto sugiere una brecha importante entre el desarrollo tecnológico y la investigación educativa aplicada.

6.3. Formación docente y agenda futura

Es necesario también poner de relieve el papel central del desarrollo profesional docente. Estudios recientes muestran que la adopción efectiva de software basado en IAGen está fuertemente mediada por la alfabetización en IA, las actitudes del profesorado y su capacidad para integrar críticamente estas herramientas en su práctica (Daher & Anabousy, 2025; Farillon-Labis, 2025; Oh, 2025; Y. Wang et al., 2025). Sin una formación específica, existe el riesgo de usos superficiales o acríticos que limiten el potencial transformador de la tecnología. En contraste, los programas de formación que enfatizan reflexión pedagógica, diseño de tareas y evaluación crítica de resultados parecen fortalecer el conocimiento tecnológico-pedagógico del profesorado y promover una integración más sostenible.

Finalmente, el análisis conjunto de la evidencia permite identificar vacíos de investigación. A pesar del creciente número de estudios, persisten lagunas en torno a los efectos a largo plazo de la IAGen sobre el pensamiento matemático, su impacto en estudiantes con necesidades educativas especiales y su uso en sistemas automatizados de evaluación (Bastani et al., 2025; Rane, 2023; Trindade et al., 2025; Zhu, 2025). Abordar estas brechas requerirá investigaciones longitudinales, diseños metodológicos más robustos y una mayor atención a contextos subrepresentados.

7. Conclusiones

El análisis de la literatura efectuado muestra que el software educativo basado en IAGen está reconfigurando de manera significativa la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, principalmente al posibilitar experiencias más personalizadas, adaptativas y potencialmente motivadoras. La evidencia revisada indica de forma consistente que estos sistemas pueden contribuir a mejorar los resultados de aprendizaje y el compromiso estudiantil, especialmente cuando se emplean como apoyo al razonamiento matemático y no como sustitutos de la actividad cognitiva del estudiante.

Un hallazgo destacable de esta revisión es que la efectividad de la IAGen depende fuertemente de su integración pedagógica. Las implementaciones más exitosas combinan las capacidades adaptativas y generativas de la IA con supervisión humana, prompts estructurados y una clara alineación con objetivos curriculares. En este sentido, el rol del profesorado sigue siendo insustituible, tanto para validar los contenidos generados como para diseñar experiencias de aprendizaje que fomenten la comprensión conceptual, la metacognición y el pensamiento crítico.

Al mismo tiempo, la literatura pone en evidencia desafíos relevantes que no pueden ser ignorados. Persisten problemas asociados a la precisión matemática, especialmente en tareas complejas, así como riesgos de dependencia excesiva, cuestiones éticas relacionadas con privacidad e integridad académica, y desigualdades en el acceso a la tecnología. Estos factores limitan el impacto potencial de la IAGen y subrayan la necesidad de marcos normativos, criterios de calidad y políticas institucionales claras para su uso en educación matemática.

Así, se concluye que el futuro del software con IAGen en matemáticas no depende únicamente de avances tecnológicos, sino del desarrollo de diseños pedagógicos sólidos, formación docente específica y agendas de investigación que aborden efectos a largo plazo y contextos poco estudiados. Abordar estos aspectos será necesario para maximizar los beneficios educativos de la IAGen y garantizar un uso responsable, equitativo y orientado al aprendizaje profundo en la educación matemática.

Contribución de los autores: Conceptualización, STCL. y OREM.; metodología, STCL. y OREM.; software, STCL.; validación, VDTL. y GJBC.; análisis formal, STCL.; investigación, STCL. y VDTL.; recursos, STCL. y GJBC.; redacción del borrador original, STCL. y OREM.; redacción, revisión y edición, VDTL. y GJBC.; visualización, VDTL. y GJBC.; supervisión, OREM. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos: O. Erazo agradece el soporte brindado por el proyecto de investigación de la Décima Convocatoria FOCICYT 2024-2025 de la UTEQ.

Financiamiento: El proceso investigativo no ha recibido financiación externa.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Declaración de disponibilidad de los datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: gbritoc@uteq.edu.ec

Referencias Bibliográficas

- Aqazade, M., Mauntel, M., & Atabas, S. (2025). Empowering mathematics teacher educators: Exploring Artificial Intelligence-driven mathematical tasks. *School Science and Mathematics*, 126(1), 24–43. <https://doi.org/10.1111/ssm.18339>
- Bani-Mattar, H. (2025). Academic Integrity in Mathematics Teaching and Learning: A Systematic Review in the Context of Generative Artificial Intelligence. *Journal of Palestine Ahliya University for Research and Studies*, 119–148. <https://doi.org/10.59994/pau.2025.SI.119>
- Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H. I., Kabakçı, Ö., Mariman, R., & Brunskill, E. (2025). *Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122>
- Biton, Y., & Segal, R. (2025). Learning to Craft and Critically Evaluate Prompts: The Role of Generative AI (ChatGPT) in Enhancing Pre-service Mathematics Teachers' TPACK and Problem-Posing Skills. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 13(1), 202–223. <https://doi.org/10.46328/ijemst.4654>
- Biton, Y., Segal, R., & Alush, K. (2025). How Utilizing Generative AI When Addressing Pedagogical and Mathematical Events Contributes to Mathematics Teacher Educators' TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge). *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, 13(4), 895–913. <https://doi.org/10.46328/ijemst.4928>
- Börekci, C., Uyangör, N., & Tarihi, G. (2025). The role of academic self-efficacy in pre-service mathematics and science teachers' use of generative artificial intelligence tools. *Araştırma Makalesi BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 27(2), 681–704. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.1596547>
- Cosentino, G., Anton, J., Sharma, K., Gelsomini, M., Giannakos, M., & Abrahamson, D. (2025). Generative AI and multimodal data for educational feedback: Insights from embodied math learning. *British Journal of Educational Technology*, 56(5), 1686–1709. <https://doi.org/10.1111/bjet.13587>
- Daher, W., & Anabousy, A. A. (2025). The didactical knowledge of generative artificial intelligence tools: The case of writing mathematics lessons. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(9). <https://doi.org/10.29333/ejmste/16769>
- Drori, I., Zhang, S., Shuttleworth, R., Tang, L., Lu, A., Ke, E., Liu, K., Chen, L., Tran, S., Cheng, N., Wang, R., Singh, N., Patti, T. L., Lynch, J., Shporer, A., Verma, N., Wu, E., & Strang, G. (2022). A neural network solves, explains, and generates university math problems by program synthesis and few-shot learning at human level. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(32). <https://doi.org/10.1073/pnas.212343311>

- Farillon-Labis, S. J. (2025). Exploring Pre-service Mathematics Teachers' Reflections in Lesson Planning with Generative Artificial Intelligence. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 24(11), 334–355. <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.11.16>
- Hwang, G. J., & Tu, Y. F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/math9060584>
- Hwang, W. Y., & Utami, I. Q. (2024). Using GPT and authentic contextual recognition to generate math word problems with difficulty levels. *Education and Information Technologies 2024* 29:13, 29(13), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12537-x>
- Lu, J., Zheng, R., Gong, Z., & Xu, H. (2024). Supporting Teachers' Professional Development With Generative AI: The Effects on Higher Order Thinking and Self-Efficacy. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1279–1289. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3369690>
- Ma, N., & Zhong, Z. (2025). A Meta-Analysis of the Impact of Generative Artificial Intelligence on Learning Outcomes. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(5), e70117. <https://doi.org/10.1111/jcal.70117>
- Malik, R., Abdi, D., Wang, R., & Demczyk, D. (2025). Scaffolding middle school mathematics curricula with large language models. *British Journal of Educational Technology*, 56(3), 999–1027. <https://doi.org/10.1111/bjet.13571>
- Mutlu, Y. (2019). Math anxiety in students with and without math learning difficulties. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 11(5), 471–475. <https://doi.org/10.26822/iejee.2019553343>
- Oh, S. (2025). Integration of MATH41 and Generative AI in Pre-Service Mathematics Teacher Education: An Empirical Study on Lesson Design Competency. *IEEE Access*, 13, 128959–128973. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3586593>
- Raj Acharya, B. (2017). Factors Affecting Difficulties in Learning Mathematics by Mathematics Learners. *International Journal of Elementary Education*, 6(2), 8. <https://doi.org/10.11648/j.ijeeedu.20170602.11>
- Rane, N. (2023). Enhancing Mathematical Capabilities through ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence: Roles and Challenges in Solving Mathematical Problems. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4603237>
- Rizos, I., Foykas, E., & Georgakopoulos, S. V. (2024). Enhancing mathematics education for students with special educational needs through generative AI: A case study in Greece. *Contemporary Educational Technology*, 16(4). <https://doi.org/10.30935/cedtech/15487>
- Shi, W. (2024). Leveraging Generative Artificial Intelligence to Enhance Mathematical Innovation and Practical Abilities of University Students. *Higher Education and Practice*, 1(11). <https://doi.org/10.62381/h241b19>
- Song, Y., Kim, J., Liu, Z., Li, C., & Xing, W. (2025). Students' perceived roles, opportunities, and challenges of a generative AI-powered teachable agent: a case of middle school math class. *Journal of Research on Technology in Education*. <https://doi.org/10.1080/15391523.2024.2447727>

- Song, Y., Kim, J., Xing, W., Liu, Z., Li, C., & Oh, H. (2025). Elementary School Students' and Teachers' Perceptions Towards Creative Mathematical Writing with Generative AI. *Journal of Research on Technology in Education*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/15391523.2025.2455057>
- Svičević, M., Milenković, A., Vučićević, N., & Stanković, M. (2025). Evaluating the Success of AI Tools in Supporting Student Performance in Mathematical Kangaroo Competition. *Computer Applications in Engineering Education*, 33(4), e70063. <https://doi.org/10.1002/cae.70063>
- Trindade, M. A. M., Edirisinghe, G. S., & Luo, L. (2025). Teaching mathematical concepts in management with generative artificial intelligence: The power of human oversight in AI-driven learning. *The International Journal of Management Education*, 23(2), 101104. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2024.101104>
- Utami, I. Q., Hwang, W. Y., & Hariyanti, U. (2024). Contextualized and Personalized Math Word Problem Generation in Authentic Contexts Using Generative Pre-trained Transformer and Its Influences on Geometry Learning. *Journal of Educational Computing Research*, 62(6), 1604–1639. <https://doi.org/10.1177/07356331241249225>
- Walkington, C. (2025). The implications of generative artificial intelligence for mathematics education. *School Science and Mathematics*. <https://doi.org/10.1111/ssm.18356>
- Walkington, C., Pando, M., Lipsmeyer, L. L., Beauchamp, T., Sager, M., & Milton, S. (2025). Middle school girls using generative AI to engage in mathematical problem-posing. *Mathematical Thinking and Learning*. <https://doi.org/10.1080/10986065.2025.2542724>
- Wang, X., & Wei, Y. (2025). The Influence of Gen-AI Assisted Learning on Primary School Students' Math Anxiety: An Intervention Study. *Applied Cognitive Psychology*, 39(4), e70088. <https://doi.org/10.1002/acp.70088>
- Wang, Y., Wei, Z., Wijaya, T. T., Cao, Y., & Ning, Y. (2025). Awareness, acceptance, and adoption of Gen-AI by K-12 mathematics teachers: an empirical study integrating TAM and TPB. *BMC Psychology*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s40359-025-02781-2>
- Xasanovna, B. D. (2025). The use of innovative technologies in mathematics lessons as a pedagogical issue. *International Journal of Pedagogics*, 5(1), 66–70. <https://doi.org/10.37547/ijp/Volume05Issue01-19>
- Xing, W., Song, Y., Li, C., Liu, Z., Zhu, W., & Oh, H. (2025). Development of a generative AI-powered teachable agent for middle school mathematics learning: A design-based research study. *British Journal of Educational Technology*, 56(5), 2043–2077. <https://doi.org/10.1111/bjet.13586>
- Yu, Y., Krantz, A., & Lobczowski, N. G. (2025). From Recall to Reasoning: Automated Question Generation for Deeper Math Learning through Large Language Models. In A. I. Cristea (Ed.), *Artificial Intelligence in Education* (Vol. 15881, pp. 414–422). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98462-4_52
- Zhu, Y. (2025). Research on the Integration Path of Artificial Intelligence in College Mathematics Education: A Multi-source Literature Analysis based on ChatGPT.

International Journal of Education and Humanities, 20(1), 66.
<https://doi.org/10.54097/2xxsa509>

Zhuang, Y., & Zhang, S. (2025). Pre-service mathematics teachers' perceptions of using GenAI for practicing teacher questioning: A semester-long study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(9).
<https://doi.org/10.29333/ejmste/16764>