



Mario Ibarra-Martínez

E-mail: mibarra@uagraria.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-5500-871X>

Manuel Eduardo López-Delgado

E-mail: mlopez@uagraria.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1452-3382>

Universidad Agraria del Ecuador

Cita sugerida (APA, séptima edición).

Ibarra-Martínez, M., & López-Delgado, M. E. (2026). Inteligencia Artificial en la enseñanza y el aprendizaje de las Matemáticas: una revisión sistemática (2020–2026). *Revista Sociedad & Tecnología*, 9(3), 418-432, DOI: <https://doi.org/10.51247/st.v9i3.769>.

==== o ====

Inteligencia Artificial en la enseñanza y el aprendizaje de las Matemáticas: una revisión sistemática (2020–2026)

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar y sintetizar la evidencia científica sobre la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza y el aprendizaje de las Matemáticas durante el período 2020-2026, con el propósito de identificar las tipologías predominantes, sus efectos en el rendimiento académico y los principales desafíos éticos y pedagógicos asociados. La metodología se fundamentó en una revisión sistemática de la literatura siguiendo las directrices del protocolo PRISMA 2020. La búsqueda se realizó de manera estructurada en siete bases de datos científicas de alto impacto, lo que permitió conformar un corpus final de 32 estudios empíricos y revisiones sistemáticas. Los resultados evidencian que los Sistemas de Tutoría Inteligente constituyen la aplicación más consolidada y frecuente, seguidos por la IA generativa y las herramientas de analítica predictiva. Asimismo, la literatura revisada muestra una asociación positiva entre el uso de la IA y la mejora del aprendizaje matemático, aunque un número limitado de investigaciones reporta tamaños de efecto estandarizados que permitan valorar con precisión la magnitud de dichos beneficios. Se concluye que la IA posee un potencial significativo para fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje de las Matemáticas en distintos niveles educativos; sin embargo, persisten desafíos relacionados con la ética, la transparencia algorítmica y la formación docente. La originalidad del estudio radica en ofrecer una síntesis actualizada y específica para la educación matemática, contribuyendo a orientar futuras investigaciones y decisiones educativas basadas en evidencia.

Palabras clave: inteligencia artificial; educación matemática; sistemas de tutoría inteligente; aprendizaje adaptativo.

Artificial Intelligence in Mathematics teaching and learning: a systematic review (2020–2026)

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze and synthesize the scientific evidence on the application of artificial intelligence (AI) in mathematics teaching and learning during the period 2020–2026, with the purpose of identifying the predominant typologies, their effects on academic performance, and the main associated ethical and pedagogical challenges. The methodology was based on a systematic literature review following the PRISMA 2020 protocol guidelines. The search was conducted in a structured manner in seven high-impact scientific databases, resulting in a final corpus of 32 empirical studies and systematic reviews. The results show that Intelligent Tutoring Systems constitute the most established and frequent application, followed by generative AI and predictive analytics tools. Furthermore, the reviewed literature shows a positive association between the use of AI and improved mathematical learning, although a limited number of studies report standardized effect sizes that would allow for a precise assessment of the magnitude of these benefits. It is concluded that AI has significant potential to strengthen the teaching and learning processes of mathematics at different educational levels; however, challenges related to ethics, algorithmic transparency, and teacher training remain. The originality of this study lies in offering an updated and specific synthesis for mathematics education, contributing to guiding future research and evidence-based educational decisions.

Keywords: artificial intelligence; mathematics education; intelligent tutoring systems; adaptive learning.

==== o ====

Inteligência Artificial no ensino e aprendizagem da Matemática: uma revisão sistemática (2020–2026)

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar e sintetizar a evidência científica sobre a aplicação da inteligência artificial (IA) no ensino e aprendizagem da matemática durante o período de 2020 a 2026, com o propósito de identificar as tipologias predominantes, os seus efeitos no desempenho acadêmico e os principais desafios éticos e pedagógicos associados. A metodologia baseou-se numa revisão sistemática da literatura seguindo as diretrizes do protocolo PRISMA 2020. A pesquisa foi conduzida de forma estruturada em sete bases de dados científicas de alto impacto, resultando num corpus final de 32 estudos empíricos e revisões sistemáticas. Os resultados mostram que os Sistemas Tutores Inteligentes constituem a aplicação mais consolidada e frequente, seguida pela IA generativa e pelas ferramentas de análise preditiva. Além disso, a literatura revista demonstra uma associação positiva entre a utilização da IA e a melhoria da aprendizagem matemática, embora um número limitado de estudos apresente tamanhos de efeito padronizados que permitam uma avaliação precisa da magnitude destes benefícios. Conclui-se que a IA tem um potencial significativo para fortalecer os processos de ensino e aprendizagem da matemática nos diferentes níveis de ensino; no entanto, ainda persistem desafios relacionados com a ética, a transparência algorítmica e a formação de professores. A originalidade deste estudo reside em oferecer uma síntese atualizada e específica para a educação matemática, contribuindo para orientar futuras pesquisas e decisões educativas baseadas em evidências.

Palavras-chave: inteligência artificial; educação matemática; sistemas tutores inteligentes; aprendizagem adaptativa.

INTRODUCCIÓN

La incorporación de la Inteligencia Artificial (IA) en los sistemas educativos representa una de las transformaciones más significativas de la era digital, marcando la transición hacia la denominada Educación 4.0 y 5.0 (Hwang, 2020). Los avances en Machine Learning (ML), Deep Learning (DL) y recientemente en IA Generativa han ampliado exponencialmente las posibilidades de personalizar los procesos de enseñanza y aprendizaje, adaptándose de manera dinámica a las necesidades cognitivas y afectivas de cada estudiante (Panqueban Pachon & Huincahue Arcos, 2024). En el contexto de la educación del siglo XXI —marcada por la digitalización acelerada tras la pandemia de COVID-19—, la IA ha emergido como una tecnología disruptiva con un potencial transformador sin precedentes en la literatura científica reciente (Vujinović y Luburić, 2024).

Análisis bibliométricos actualizados hasta inicios de 2026 revelan un crecimiento exponencial en la producción científica: entre 2020 y 2026, la cantidad de investigaciones indexadas sobre IA educativa ha superado las proyecciones iniciales, impulsada por la integración de modelos de lenguaje a gran escala (LLMs) y sistemas adaptativos en tiempo real (Nguyen, 2025). Este auge no solo responde a una tendencia tecnológica, sino a una necesidad imperativa de mejorar la equidad y la calidad educativa a escala global, tal como han señalado organismos internacionales y revisiones sistemáticas de vanguardia (Stracke et al., 2023).

Dentro del espectro de disciplinas académicas, las Matemáticas constituyen un terreno excepcionalmente fértil para la IA debido a la naturaleza lógica y estructurada de sus contenidos (Hwang, 2020). Desde el desarrollo de habilidades aritméticas básicas hasta el razonamiento abstracto en cálculo multivariable, la IA permite modelar el trazado del conocimiento (Knowledge Tracing) de manera más precisa que los métodos tradicionales, permitiendo una evaluación diagnóstica y formativa continua. Estos sistemas son capaces de identificar patrones de error recurrentes y proponer rutas de aprendizaje diferenciadas, lo que reduce la brecha de rendimiento en poblaciones vulnerables (Okonkwo y Ade-Ibijola, 2021).

Estudios recientes han demostrado que el impacto de la IA en matemáticas no se limita a la eficiencia procedimental, sino que se extiende al desarrollo de la intuición matemática y la resolución de problemas complejos mediante la asistencia de algoritmos avanzados (Davies, 2021). La irrupción de herramientas como ChatGPT y otros asistentes basados en IA generativa ha redefinido la práctica docente en el aula de matemáticas, planteando tanto oportunidades de personalización masiva como desafíos éticos sobre la autoría y el pensamiento crítico (Egara, 2024).

A pesar del volumen masivo de publicaciones, persiste una brecha crítica en la síntesis de evidencia. La mayoría de las revisiones sistemáticas disponibles se centran en periodos anteriores a 2023 o abordan la IA educativa desde una perspectiva genérica, sin diferenciar las especificidades de la didáctica de la matemática por nivel educativo. Existe una necesidad urgente de consolidar hallazgos que comparen la efectividad de los Sistemas de Tutoría Inteligente (STI) tradicionales frente a las nuevas aplicaciones de IA Generativa y analítica de datos a gran escala (Martin et al., 2024). Esta laguna limita la toma de decisiones informada por parte de diseñadores instruccionales y autoridades educativas, especialmente en contextos iberoamericanos donde la producción científica aún busca consolidarse.

El presente estudio tiene como objetivo general analizar y sintetizar la evidencia científica sobre la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial en la enseñanza y el aprendizaje de las Matemáticas durante el periodo 2020–2026, con el fin de identificar tendencias pedagógicas y evaluar su impacto en el rendimiento académico.

Para alcanzar este fin, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- PI1: ¿Cuáles son las tipologías de aplicaciones de IA más frecuentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las Matemáticas entre 2020 y 2026?

- PI2: ¿Qué evidencia existe sobre el impacto de la IA en el rendimiento académico matemático en los diferentes niveles educativos?
- PI3: ¿Qué algoritmos y estrategias de personalización han mostrado mayor efectividad según la literatura indexada?
- PI4: ¿Cuáles son los desafíos éticos y tecnológicos más recurrentes identificados en las revisiones sistemáticas de este periodo?

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La Inteligencia Artificial aplicada a la educación (AIED, por sus siglas en inglés) ha evolucionado de ser una disciplina experimental para convertirse en la piedra angular de la modernización educativa global (Stracke et al., 2023). En su esencia, la AIED busca no solo automatizar tareas administrativas, sino profundizar en la comprensión de cómo ocurre el aprendizaje mediante el modelado computacional de procesos cognitivos. Según Nguyen (2025), puede inferirse que la AIED contemporánea opera al menos en tres niveles: soporte directo al estudiante mediante sistemas adaptativos; apoyo al docente mediante analítica del aprendizaje y automatización de tareas; y, de manera emergente, soporte institucional orientado a decisiones basadas en datos y optimización de recursos.

El fundamento técnico de la AIED reside en la capacidad de los algoritmos para procesar grandes volúmenes de datos (Big Data) generados en entornos virtuales de aprendizaje. Estos datos, cuando se analizan mediante técnicas de minería de datos educativos (EDM), permiten identificar micro-patrones de comportamiento que revelan el estado motivacional y cognitivo del aprendiz (Baker y Siemens, 2022). En ciertas investigaciones asociadas se subraya que la AIED ha trascendido el análisis reactivo para enfocarse en la proactividad, donde el software anticipa la confusión del estudiante y ofrece andamiajes (scaffolding) personalizados antes de que se consolide el error (Adair et al., 2023).

Los Sistemas de Tutoría Inteligente (STI) han sido el pilar de la IA en matemáticas durante décadas. Su arquitectura clásica se basa en cuatro modelos fundamentales: el modelo del dominio (qué se enseña), el modelo del estudiante (qué sabe el aprendiz), el modelo pedagógico (cómo enseñar) y el modelo de interfaz (cómo interactuar) (Hwang, 2020). En la educación matemática, el modelo del dominio es particularmente robusto debido a que los conceptos matemáticos pueden descomponerse en grafos de conocimiento jerarquizados, donde la adquisición de una competencia avanzada (ej. derivadas) depende estrictamente del dominio de competencias base (ej. funciones) (Ritter et al., 2007).

Investigaciones en el modelado del estudiante indican que los STI contemporáneos emplean modelos probabilísticos como el Bayesian Knowledge Tracing, estrechamente relacionados con la Item Response Theory, para estimar de forma dinámica el estado de conocimiento del aprendiz (Ines et al., 2024). En estos sistemas, el dominio de habilidades latentes se representa como una probabilidad que se actualiza tras cada interacción, lo que permite calcular la probabilidad de éxito del estudiante en distintos ejercicios y seleccionar adaptativamente aquellos ítems cuya dificultad se sitúa en el límite superior de su capacidad actual. Esta integración entre BKT e IRT constituye el fundamento técnico de la selección adaptativa de tareas en STI modernos, orientada a maximizar el aprendizaje mediante desafíos ajustados al nivel cognitivo del estudiante (Binh et al., 2021). La efectividad de estos sistemas ha sido ampliamente documentada en niveles de educación media y superior, demostrando reducciones significativas en la ansiedad matemática al proporcionar un entorno de práctica privado y libre de juicios externos.

El ML ha introducido una capacidad predictiva sin precedentes en la educación. Los modelos de clasificación supervisada, como los bosques aleatorios (Random Forest) y las máquinas de soporte vectorial (SVM), se utilizan para predecir el rendimiento académico con una precisión superior al 85% (Okonkwo y Ade-Ibijola, 2021). No obstante, el verdadero salto cualitativo

ha ocurrido con el DL y las redes neuronales recurrentes (RNN), específicamente mediante el Deep Knowledge Tracing (DKT). A diferencia de los métodos tradicionales, el DKT puede modelar la evolución temporal del conocimiento de un estudiante como una serie de estados ocultos, capturando sutilezas en el proceso de olvido y reaprendizaje que los modelos estáticos ignoran.

En el periodo 2023-2026, la integración de redes neuronales de grafos (GNN) ha permitido modelar la interconectividad de conceptos matemáticos complejos, permitiendo que la IA sugiera rutas de aprendizaje no lineales. Por ejemplo, si un estudiante falla un problema de trigonometría, el sistema puede identificar que la causa raíz no es la función seno, sino una debilidad en la comprensión de las propiedades de los triángulos semejantes, redirigiendo el flujo de estudio de manera precisa (Chen y Li, 2026).

La personalización algorítmica no debe entenderse como un proceso puramente técnico, sino como la implementación computacional de teorías pedagógicas. El Aprendizaje Adaptativo se apoya en el principio de 'Individualización' de Bloom, quien demostró que un estudiante promedio con tutoría personal puede superar al 98% de sus pares en un aula tradicional (Hwang, 2020). La IA escala este modelo, permitiendo que un solo docente 'tutorice' virtualmente a cientos de estudiantes de manera simultánea.

Desde una perspectiva constructivista, la personalización algorítmica facilita la autonomía (Self-Regulated Learning). Al permitir que el estudiante elija su ritmo y reciba feedback inmediato, la IA fomenta la metacognición: el aprendiz empieza a comprender sus propios procesos de pensamiento y a identificar sus vacíos de forma consciente. Asimismo, teorías modernas como el Aprendizaje Basado en la Indagación se ven potenciadas por la IA Generativa, la cual puede actuar como un interlocutor socrático que desafía las suposiciones del estudiante y lo guía mediante preguntas sugerentes en lugar de respuestas directas (Egara, 2024).

La didáctica de la matemática enfrenta hoy el reto de transitar desde una enseñanza basada en procedimientos hacia una basada en la comprensión profunda y el modelado. El National Council of Teachers of Mathematics (NCTM) ha destacado que la tecnología debe ser una herramienta para pensar, no solo para calcular (Mishra y Koehler, 2006). En este sentido, la IA se integra con enfoques como la Resolución de Problemas (Problem-Based Learning) y la Visualización Matemática (Schorcht et al., 2024). Herramientas de IA que generan visualizaciones dinámicas de funciones complejas o que permiten explorar cambios en parámetros algebraicos en tiempo real están redefiniendo la experiencia en el aula.

Sin embargo, persisten retos estructurales. La literatura reciente apunta a una brecha de implementación: pese a la disponibilidad de tecnologías AIED, su integración efectiva en aula sigue en fases tempranas y requiere fortalecer la alfabetización y capacidades docentes (Stracke et al., 2023). En el ámbito de la educación matemática mediada por inteligencia artificial, el problema de la caja negra adquiere especial relevancia, ya que muchos modelos avanzados, particularmente aquellos basados en deep learning, generan inferencias difíciles de interpretar incluso para sus diseñadores. Cuando un sistema inteligente recomienda que un estudiante no continúe hacia contenidos matemáticos de mayor abstracción, como el cálculo diferencial, surge un dilema pedagógico y ético fundamental: ¿qué evidencias matemáticas, patrones de error o supuestos cognitivos sustentan tal decisión, y de qué manera pueden ser comprendidos y cuestionados por docentes y alumnos? Estas preocupaciones han impulsado el desarrollo de la Inteligencia Artificial Explicable (XAI) en educación matemática, un enfoque que busca hacer transparentes los razonamientos algorítmicos, permitiendo que las decisiones de los sistemas de tutoría inteligente se integren de forma responsable al juicio profesional del profesor y al desarrollo de la autonomía del estudiante (Holmes et al., 2021).

En los últimos años, han surgido revisiones sistemáticas que profundizan aspectos específicos de la inteligencia artificial en la educación matemática que no siempre son abordados de

forma integral en estudios generales del campo. En particular, investigaciones recientes han incorporado marcos pedagógicos explícitos para analizar el grado de transformación educativa que producen los Sistemas de Tutoría Inteligente. Desde esta perspectiva, se ha evidenciado que muchas implementaciones de STI en matemáticas operan aún en niveles de sustitución o aumento, mientras que los enfoques verdaderamente transformadores dependen de la integración consciente del rol docente y del rediseño de las tareas matemáticas, más allá del simple soporte automatizado (Ma et al., 2014).

Asimismo, estudios centrados específicamente en la educación superior matemática destacan que la adopción de inteligencia artificial presenta oportunidades diferenciadas respecto a otros niveles educativos, especialmente en cursos de álgebra avanzada, cálculo y estadística. Estas investigaciones subrayan que los beneficios de la IA se maximizan cuando se emplea para retroalimentación en tiempo real, análisis del progreso y apoyo a la toma de decisiones pedagógicas, aunque persisten desafíos relevantes relacionados con la formación docente y la alineación curricular (Luzano, 2024).

Finalmente, otras revisiones sistemáticas han situado la inteligencia artificial en educación matemática dentro del contexto más amplio de la Cuarta Revolución Industrial, resaltando su potencial para reducir brechas educativas mediante la personalización, pero también alertando sobre la escasa atención a fundamentos teóricos de la didáctica matemática y a la evaluación longitudinal de los aprendizajes. Estas limitaciones refuerzan la necesidad de estudios de síntesis que articulen evidencias técnicas, pedagógicas y éticas de manera integrada (Msomi y Mthethwa, 2024).

METODOLOGÍA

El presente estudio se basa en una revisión sistemática de la literatura (RSL) siguiendo las directrices del protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) (Page, 2021). Este enfoque garantiza la transparencia, reproducibilidad y rigor metodológico en la identificación, selección y síntesis de la evidencia científica. Asimismo, se adoptaron las recomendaciones específicas para el campo de la Inteligencia Artificial y la educación (AI&ED) propuestas por Stracke et al. (2023), quienes definen un marco estandarizado para abordar la complejidad de las aplicaciones algorítmicas en entornos de aprendizaje.

Para conformar el corpus de estudio, se realizó una búsqueda exhaustiva en siete bases de datos y portales editoriales de alto impacto: Scopus, Web of Science (WoS Core Collection), SpringerLink, Wiley Online Library, IEEE Xplore, Taylor & Francis Online y Dialnet. La elección de estas fuentes responde a su relevancia en las áreas de tecnología educativa, matemáticas y ciencias de la computación.

La cadena de búsqueda se diseñó utilizando operadores booleanos y términos clave en español e inglés, centrados en tres dimensiones: la tecnología (e.g., "artificial intelligence", "machine learning"), la disciplina (e.g., "mathematics education", "math learning") e indicadores de rendimiento. Las consultas se ejecutaron durante febrero de 2026, abarcando artículos publicados entre 2020 y 2026 (e inclusive avances de 2026). La cadena base en Scopus fue: ("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "intelligent tutoring") AND ("mathematics education" OR "math learning" OR "mathematical thinking") AND PUBYEAR > 2019`.

Para asegurar la calidad y pertinencia de los estudios incluidos, se aplicaron los siguientes criterios:

- Inclusión: (a) artículos de investigación empíricos o revisiones sistemáticas publicados en revistas científicas indexadas en Scopus/WoS; (b) estudios centrados explícitamente en el uso de IA para la enseñanza o aprendizaje de las Matemáticas; (c) trabajos con un umbral mínimo de 5 citas (fijado para garantizar tracción científica), permitiendo un margen del 20%

para artículos emergentes (2024-2026) en revistas Q1/Q2; (d) estudios en niveles educativos de básica, media o superior.

- Exclusión: (a) tesis, libros, blogs o actas de conferencias no indexadas; (b) estudios donde las Matemáticas no fueran el foco principal; (c) trabajos duplicados o con enlaces DOI no funcionales.

El proceso se dividió en cuatro fases:

- 1. Identificación:** Se recuperaron registros iniciales mediante las cadenas de búsqueda.
- 2. Cribado (Screening):** Eliminación de duplicados (vía DOI) y revisión de títulos y resúmenes frente a los criterios de inclusión.
- 3. Elegibilidad:** Lectura de texto completo para confirmar la relevancia temática y el cumplimiento del umbral de citación o calidad editorial.
- 4. Inclusión:** Selección definitiva de 32 artículos representativos, que conforman el corpus final para la síntesis cualitativa y cuantitativa. La exclusión final de tres estudios, inicialmente considerados elegibles, se debió a inconsistencias metodológicas detectadas durante el proceso de extracción de datos, tales como ausencia de indicadores claros de impacto en el aprendizaje matemático o descripciones insuficientes de la técnica de inteligencia artificial empleada (Figura 1).

En relación con la cuantificación del impacto en el rendimiento académico, es importante precisar que, del total de 32 estudios incluidos en el corpus, únicamente dos corresponden a metaanálisis que reportan tamaños de efecto estandarizados (g). Dichos valores no fueron calculados por los autores del presente estudio, sino que provienen de metaanálisis empíricos incluidos como unidades primarias de análisis. El resto de los estudios reporta mejoras significativas, asociaciones predictivas o efectos positivos del uso de la inteligencia artificial en el aprendizaje matemático, aunque sin presentar tamaños de efecto comparables. En consecuencia, la síntesis del impacto se realizó principalmente a través de un enfoque narrativo, apoyado en evidencia cuantitativa reportada por los estudios originales, y no mediante un metaanálisis propio.

Tabla 1

Resumen del proceso de selección de artículos (Protocolo PRISMA)

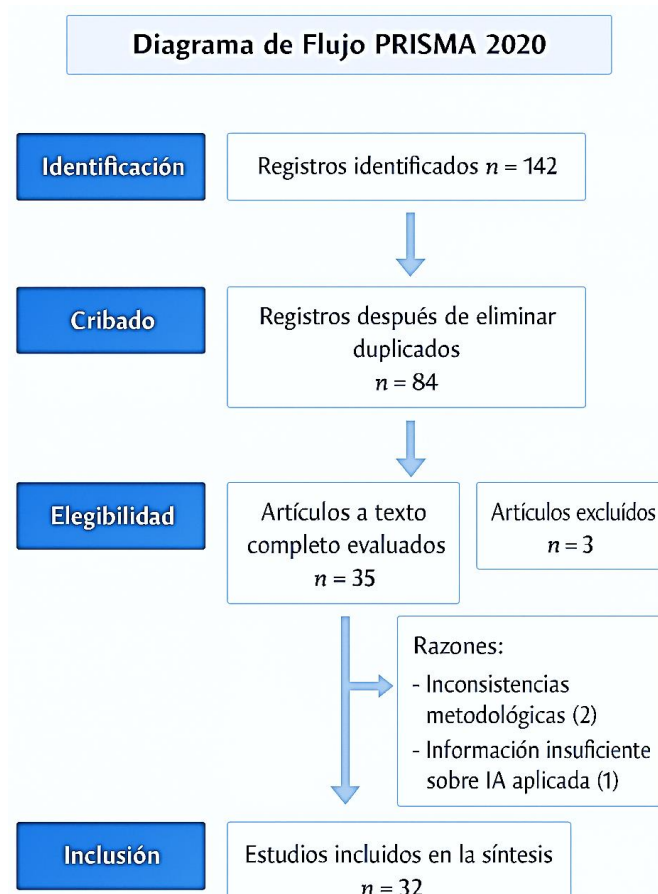
Fase	Criterio	Artículos Iniciales	Excluidos	Candidatos Finales
Identificación	Búsqueda en 7 bases de datos	142	0	142
Cribado	Detección de duplicados	142	58	84
Elegibilidad	Lectura completa / Calidad	84	52	32
Inclusión	Corpus para síntesis	32	0	32

De cada artículo incluido, se extrajeron metadatos descriptivos (autores, año, país, revista) y variables temáticas clave: nivel educativo (básico, medio, superior), técnica de IA empleada (STI, ML supervisado, DL, IA generativa), dimensión pedagógica impactada (rendimiento, personalización, evaluación) y desafíos reportados. La síntesis se realizó mediante un análisis temático cualitativo para identificar patrones y una síntesis narrativa de los resultados cuantitativos (impacto en el rendimiento).

La calidad de los estudios incluidos se evaluó siguiendo las directrices de Kitchenham y Charters (2007) para revisiones sistemáticas en tecnología, adaptadas al contexto educativo. Se utilizaron criterios de validez interna, fiabilidad de los instrumentos de medición de aprendizaje matemático y rigor en el reporte de los algoritmos de IA.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA para la selección de estudios sobre IA y Educación Matemática



RESULTADOS

El análisis de los estudios publicados entre 2020 y 2026 permite identificar tendencias claras en el uso de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. Para una presentación estructurada, los resultados se organizan en análisis descriptivo cuantitativo, síntesis comparativa y visualización de tendencias temporales.

Distribución de tipologías de IA en educación matemática

El análisis cuantitativo evidencia tres tipologías dominantes de aplicaciones de IA. Como se observa en la Tabla 2, los Sistemas de Tutoría Inteligente (STI) concentran el mayor número de estudios ($n = 15$), seguidos por las aplicaciones de IA generativa ($n = 9$) y, en menor medida, por la analítica predictiva y aprendizaje automático aplicada al rendimiento académico ($n = 8$).

Tabla 2.

Tipologías de aplicaciones de IA identificadas en educación matemática (2020–2026)

Tipología de IA	Número de estudios
Sistemas de Tutoría	15
IA Generativa	9
Analítica Predictiva	8

Estos resultados confirman que los STI constituyen la línea de investigación más madura, mientras que la IA generativa representa la tendencia emergente más relevante del periodo reciente.

Impacto de la IA en el rendimiento académico matemático

La evidencia empírica revisada muestra que la implementación de la IA se asocia con mejoras significativas en el aprendizaje matemático, aunque con variaciones según el nivel educativo y el tipo de tecnología empleada.

- En educación básica y media, los STI y sistemas adaptativos muestran mejoras consistentes en comprensión conceptual, resolución de problemas y pensamiento computacional.
- En educación superior, los efectos positivos se concentran en el razonamiento matemático avanzado, la argumentación formal y la autonomía del aprendizaje, especialmente cuando se emplean herramientas de IA generativa como apoyo pedagógico.
- Los metaanálisis incluidos en el corpus reportan tamaños de efecto moderados a altos ($g > 0.5$); no obstante, estos corresponden a un número acotado de estudios, mientras que la mayoría de los artículos analizados aporta evidencia cuantitativa y cualitativa sin estandarización en términos de tamaño de efecto.

Estrategias de personalización y algoritmos efectivos

Los estudios analizados coinciden en que las estrategias de personalización más efectivas son aquellas que integran múltiples enfoques algorítmicos y pedagógicos. Destacan:

- Modelos híbridos que combinan lógica difusa, reglas expertas y aprendizaje automático supervisado para adaptar contenidos a variables cognitivas y afectivas.
- Algoritmos de clasificación y predicción utilizados para identificar perfiles de aprendizaje y anticipar dificultades.
- Modelos de lenguaje de gran escala (LLM) integrados con estrategias de andamiaje pedagógico, aprendizaje autorregulado y principios de explicabilidad.

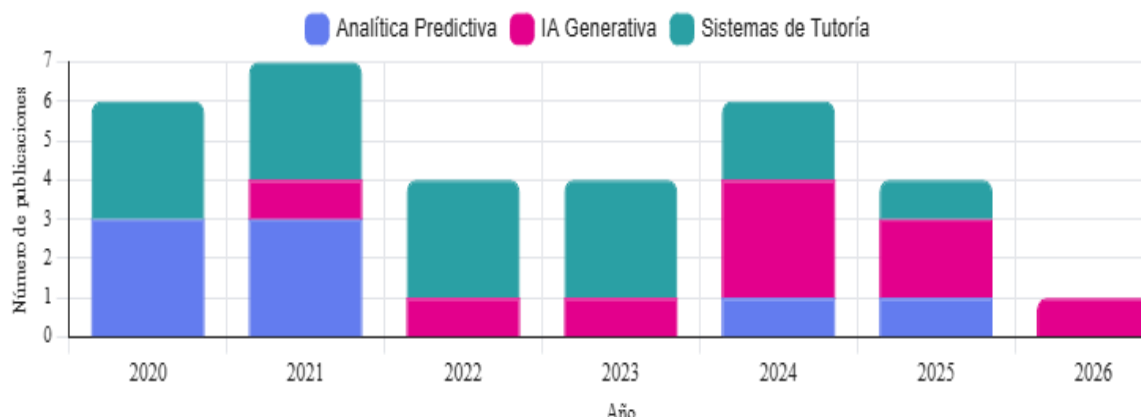
Tendencias temporales de publicación

La Figura 2 muestra la evolución temporal de las publicaciones según la tipología de IA. Se puede observar en ella un crecimiento sostenido de los STI a lo largo del periodo, así como un incremento marcado de la IA generativa a partir de 2022, coincidiendo con la popularización de los LLM en el ámbito educativo.

Esta tendencia puede interpretarse como una transición desde enfoques centrados en la personalización automatizada hacia modelos de interacción cognitiva más flexible y contextualizada.

Figura 2

Distribución de publicaciones sobre IA en educación matemática por tipología (2020–2026)



Desafíos éticos y tecnológicos identificados

Finalmente, el análisis cualitativo de revisiones sistemáticas y estudios teóricos identifica desafíos recurrentes, entre los que destacan:

- Riesgos éticos relacionados con privacidad, sesgos algorítmicos y dependencia cognitiva.
- Dificultades tecnológicas y pedagógicas vinculadas a la integración curricular, la explicabilidad de los modelos y la formación docente especializada en IA.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión confirman que la inteligencia artificial (IA) ha experimentado una evolución cualitativa significativa en la educación matemática entre 2020 y 2026, tanto en términos de tipologías tecnológicas como de enfoques pedagógicos asociados. Esta transformación se manifiesta en el tránsito progresivo desde los sistemas de tutoría inteligente tradicionales, basados en modelos cognitivos explícitos y reglas predefinidas, hacia entornos educativos que incorporan inteligencia artificial generativa, capaces de producir explicaciones, retroalimentación y ejemplos matemáticos adaptados dinámicamente a las interacciones del estudiante. Este desplazamiento refleja un cambio paradigmático en la investigación y práctica de la IA educativa, en el que los sistemas pasan de centrarse exclusivamente en la secuenciación del contenido y el dominio de habilidades específicas a ofrecer apoyo flexible al razonamiento matemático, la resolución de problemas y la metacognición, en coherencia con las tendencias reportadas por revisiones sistemáticas recientes sobre inteligencia artificial en educación (Garzón et al., 2025).

En este contexto, el predominio de los Sistemas de Tutoría Inteligente (STI) identificado en los resultados puede interpretarse como reflejo de su madurez tecnológica y de su compatibilidad con modelos instruccionales consolidados en la educación matemática. Meta-análisis previos, no considerados en revisiones más recientes por razones temporales, ya habían demostrado que los STI producen efectos positivos consistentes sobre el aprendizaje matemático en educación básica y secundaria, aunque con variaciones según la duración de la intervención y las características del estudiantado. Estos hallazgos históricos permiten contextualizar los resultados actuales y refuerzan la idea de que la efectividad de los STI no depende exclusivamente del algoritmo subyacente, sino de su integración didáctica y curricular. Revisiones enfocadas específicamente en matemáticas destacan que estos sistemas contribuyen de manera efectiva a la mejora del rendimiento académico mediante la

retroalimentación inmediata, la secuenciación personalizada de contenidos y el monitoreo continuo del progreso del estudiante (Zhou y Wong, 2023).

Uno de los hallazgos más relevantes de este estudio es la rápida consolidación de la IA generativa a partir de 2022, particularmente a través de modelos de lenguaje de gran escala como ChatGPT. A diferencia de los STI tradicionales, estas herramientas permiten interacciones abiertas, explicaciones multirrepresentacionales y exploración de soluciones alternativas, lo que amplía las posibilidades didácticas en matemáticas avanzadas. Estudios recientes muestran que los LLM pueden apoyar procesos de alto nivel cognitivo como la construcción de demostraciones geométricas, el razonamiento algebraico y la argumentación matemática, especialmente en educación superior y formación del profesorado (Hwang, 2020).

No obstante, la literatura también advierte que el impacto positivo de la IA generativa no es inherente a la tecnología, sino que depende críticamente del marco pedagógico que orienta su uso. Investigaciones basadas en la teoría de la autodeterminación y el aprendizaje autorregulado señalan que los beneficios en el aprendizaje matemático se maximizan cuando los estudiantes mantienen agencia cognitiva y utilizan la IA como herramienta de apoyo, y no como sustituto del razonamiento propio (Xia et al., 2022). En este sentido, la evidencia empírica sugiere que el uso no mediado de chatbots puede derivar en aprendizajes superficiales o dependencia cognitiva, una preocupación creciente en la literatura posterior a la popularización de los LLM (Cabero-Almenara y Barroso-Osuna, 2025).

Los tamaños de efecto moderados a altos reportados en los metaanálisis incluidos en el estudio refuerzan la robustez empírica del uso de la IA en educación matemática (Tamur et al., 2024). Sin embargo, estos resultados también coinciden en que la efectividad de la IA es mayor cuando se emplea como complemento de una instrucción guiada, lo que respalda modelos híbridos de enseñanza donde el docente mantiene un rol central como mediador didáctico. Esta conclusión es coherente con estudios en educación superior que subrayan la necesidad de preservar la interacción humano-humano, especialmente en procesos de razonamiento abstracto y evaluación formativa (Bond et al., 2021).

En relación con los algoritmos y estrategias de personalización, los resultados confirman la superioridad de enfoques híbridos que integran aprendizaje automático, reglas expertas y variables afectivas. Estudios basados en lógica difusa y modelos supervisados muestran que considerar factores emocionales y motivacionales mejora significativamente el rendimiento y la persistencia del estudiante en matemáticas (Hwang, 2020). Asimismo, la literatura reciente enfatiza que la incorporación de principios de IA explicable no solo responde a demandas éticas, sino que también favorece la comprensión metacognitiva del aprendizaje matemático (Karpouzis, 2023).

Finalmente, los desafíos éticos y tecnológicos identificados en los resultados reflejan preocupaciones ampliamente compartidas en la literatura internacional. La protección de datos, los sesgos algorítmicos y la equidad en el acceso a herramientas de IA emergen como desafíos críticos, particularmente en contextos iberoamericanos y sistemas educativos con brechas digitales persistentes (Cabero-Almenara y Barroso-Osuna, 2025). Estas preocupaciones refuerzan la necesidad de marcos normativos, formación docente específica y políticas institucionales que garanticen un uso responsable e inclusivo de la IA en educación matemática.

La evidencia sintetizada en esta revisión se ve reforzada por metaanálisis recientes que han comenzado a cuantificar de manera más sistemática el impacto de la inteligencia artificial sobre el aprendizaje matemático, particularmente en contextos escolares. Un metaanálisis centrado en educación K-12 reporta un efecto positivo global moderado del uso de la IA frente a la instrucción tradicional, destacando que los mayores beneficios se observan cuando los sistemas inteligentes operan como apoyo adaptativo y tutoría personalizada, más que como sustitutos de la enseñanza docente. Estos resultados complementan los hallazgos del presente

estudio al subrayar que los efectos de la IA no son homogéneos y dependen de factores contextuales como el tipo de tecnología, el contenido matemático y el modo de integración pedagógica (Yi et al., 2024).

Desde una perspectiva analítica complementaria, investigaciones recientes sobre el uso de Learning Analytics en educación matemática evidencian que la toma de decisiones basada en datos se ha consolidado como una de las funciones emergentes de la IA en el aula. Los estudios muestran que los sistemas de analítica del aprendizaje permiten identificar patrones de desempeño y orientar intervenciones pedagógicas diferenciadas, aunque advierten que los beneficios se concentran principalmente cuando los docentes cuentan con formación suficiente para interpretar y actuar sobre dichos datos. Esta línea de investigación sugiere que la IA no solo impacta el aprendizaje del estudiante, sino que transforma progresivamente las prácticas de evaluación y retroalimentación en matemáticas (Rundquist et al., 2024).

Asimismo, revisiones recientes que analizan el rol relativo de la IA y del profesorado en la enseñanza matemática destacan una transición conceptual importante: de modelos donde la IA actúa como recurso independiente hacia enfoques donde el docente se concibe como un socio pedagógico del sistema inteligente. Estos trabajos señalan que, en investigaciones más recientes, el profesorado asume funciones de mediación didáctica, diseño de tareas y control pedagógico, mientras que la IA se orienta al apoyo individualizado y la gestión de información. Esta reconceptualización resulta clave para interpretar los resultados del presente estudio, ya que refuerza la necesidad de enfoques híbridos y colaborativos en la integración de la IA en educación matemática (Yoon y Kwon, 2024).

Finalmente, la rápida expansión de herramientas basadas en inteligencia artificial generativa ha intensificado el debate sobre la ética y la gobernanza del uso de la IA en contextos educativos. Revisiones sistemáticas recientes identifican como desafíos centrales la protección de datos, la equidad algorítmica, la transparencia de los sistemas y la necesidad de mecanismos de supervisión humana. Estas preocupaciones adquieren particular relevancia en la educación matemática, donde las decisiones algorítmicas pueden influir en la progresión académica del estudiante. En este sentido, la literatura coincide en que la adopción responsable de la IA requiere marcos normativos claros y una gobernanza educativa que integre principios éticos desde el diseño hasta la implementación de los sistemas inteligentes (Alfiras et al., 2025).

CONCLUSIONES

A partir del análisis de literatura indexada publicada entre 2020 y 2026, se concluye que la inteligencia artificial se ha consolidado como un componente relevante en la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Los principales aportes de este estudio permiten afirmar que:

1. Los Sistemas de Tutoría Inteligente constituyen la aplicación más madura y extendida de la IA en educación matemática.
2. La IA generativa representa la tendencia emergente más influyente del periodo reciente, con alto potencial para apoyar el razonamiento matemático.
3. Existe evidencia empírica sólida que respalda un impacto positivo de la IA en el rendimiento académico matemático.
4. Las estrategias de personalización más efectivas combinan enfoques algorítmicos con principios pedagógicos explícitos.
5. Los desafíos éticos y tecnológicos requieren atención prioritaria para garantizar un uso responsable de la IA en contextos educativos.

En consecuencia, la IA debe concebirse como una herramienta de apoyo al aprendizaje matemático, integrada a marcos pedagógicos y éticos sólidos, y no como un sustituto de la enseñanza humana.

LIMITACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, se centra exclusivamente en literatura indexada, lo que puede limitar la inclusión de estudios locales o experiencias innovadoras no publicadas en bases de datos de alto impacto. En segundo lugar, la heterogeneidad metodológica de los estudios revisados dificulta la comparación directa de resultados entre niveles educativos y tipos de intervención.

Además, gran parte de la literatura sobre IA generativa corresponde a estudios exploratorios recientes, lo que limita la evaluación de efectos a largo plazo sobre el aprendizaje matemático. Como líneas futuras de investigación, se recomienda:

- Desarrollar estudios longitudinales sobre el impacto sostenido de la IA generativa.
- Profundizar en modelos de IA explicable aplicados a la educación matemática.
- Analizar comparativamente el efecto de diferentes enfoques de personalización.
- Investigar la formación docente en IA desde una perspectiva pedagógica y ética.
- Integrar marcos normativos y de gobernanza para el uso responsable de la IA en educación.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Agraria del Ecuador por el respaldo institucional brindado para el desarrollo del presente artículo, así como por promover un entorno académico propicio para la investigación científica y la reflexión crítica en el ámbito de la educación y las tecnologías emergentes. En particular, se reconoce el apoyo recibido para la revisión, análisis y sistematización de la literatura científica que fundamenta este estudio, contribuyendo al fortalecimiento de la producción académica y a la difusión del conocimiento en el campo de la educación matemática mediada por inteligencia artificial.

CONTRIBUCION DE LOS COAUTORES

- **Mario Alberto Ibarra Martínez:** Conceptualización del estudio, formulación de los objetivos y preguntas de investigación, diseño metodológico de la revisión sistemática, análisis e interpretación de los resultados, redacción del manuscrito original y revisión final del contenido académico.
- **Manuel Eduardo López Delgado:** Búsqueda, selección y organización del corpus bibliográfico, apoyo en el análisis temático de la literatura, contribución a la redacción de las secciones de revisión de la literatura y discusión, así como revisión crítica del manuscrito y validación del contenido final.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés, de carácter financiero o personal, que hayan influido en la realización o los resultados de la presente investigación.

REFERENCIAS

- Adair, A., Pedro, M. S., Gobert, J., & Segan, E. (2023, junio 26). *Real-Time AI-Driven Assessment and Scaffolding that Improves Students' Mathematical Modeling during Science Investigations*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36272-9_17
- Alfiras, M. I. I., Emran, A. Q., & Mohamed, A. M. (2025). Ethics and governance of generative AI in education: A systematic review on responsible adoption. *Discover Education*, 5(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-01051-y>

- Baker, R. S., & Siemens, G. (2022). Learning Analytics and Educational Data Mining. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (3.^a ed., pp. 259-278). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108888295.016>
- Binh, H. T., Trung, N. Q., & Duy, B. T. (2021). Responsive student model in an intelligent tutoring system and its evaluation. *Education and Information Technologies*, 26(4), 4969-4991. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10485-4>
- Bond, M., Bedenlier, S., Marín, V. I., & Händel, M. (2021). Emergency remote teaching in higher education: Mapping the first global online semester. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00282-x>
- Cabero-Almenara, J., & Barroso-Osuna, J. (2025). La ética de la Inteligência Artificial en la educación: Hacia un uso responsable e inclusivo. *Educação e Pesquisa*, 51, e293347. <https://doi.org/10.1590/s1678-4634202551293347es>
- Chen, Y.-T., & Li, S. (2026). Can Generative Artificial Intelligence Effectively Enhance Students' Mathematics Learning Outcomes?—A Meta-Analysis of Empirical Studies from 2023 to 2025. *Education Sciences*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/educsci16010140>
- Davies, A. (2021). Advancing mathematics by guiding human intuition with AI. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04086-x>
- Egara, F. O. (2024). Exploring the Integration of Artificial Intelligence-Based ChatGPT into Mathematics Instruction: Perceptions, Challenges, and Implications for Educators. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/educsci14070742>
- Garzón, J., Patiño, E., & Marulanda, C. (2025). Systematic Review of Artificial Intelligence in Education: Trends, Benefits, and Challenges. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(8). <https://www.mdpi.com/2414-4088/9/8/84>
- Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., Holstein, K., Sutherland, E., Baker, T., Shum, S. B., Santos, O. C., Rodrigo, M. T., Cukurova, M., Bittencourt, I. I., & Koedinger, K. R. (2021). Ethics of AI in Education: Towards a Community-Wide Framework. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(3), 504-526. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00239-1>
- Hwang, G. J. (2020). A fuzzy expert system-based adaptive learning approach to improving students' learning performances by considering affective and cognitive factors. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100003>
- Ines, Š.-G., Ani, G., & Angelina, G. (2024). Correction: Twenty-Five Years of Bayesian knowledge tracing: a systematic review. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 34(5), 2115-2115. <https://doi.org/10.1007/s11257-024-09419-9>
- Karpouzis, K. (2023). *Explainable AI for Intelligent Tutoring Systems* (4ds7q_v1). OSF Preprints. <https://doi.org/10.31219/osf.io/4ds7q>
- Kitchenham, B. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering* (EBSE-2007-01). https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf
- Luzano, J. F. P. (2024). *AI-Powered Pedagogies in Mathematics Education: A Systematic Review*. 8(5).
- Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106(4), 901-918. <https://doi.org/10.1037/a0037123>
- Martin, F., Zhuang, M., & Schaefer, D. (2024). Systematic review of research on artificial intelligence in K-12 education (2017-2022). *Computers and Education: Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100195>

- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Msomi, A. M., & Mthethwa, T. M. (2024, diciembre 31). *Artificial Intelligence in Higher Education Mathematics: A Systematic Review of Trends, Benefits, and Challenges*. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/tfc-24/126007675>
- Nguyen, D. T. (2025). Artificial intelligence (AI) in mathematics education: Bibliometric analysis for the period 2020-2025. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 20(4), em0857. <https://doi.org/10.29333/iejme/17182>
- Okonkwo, C., & Ade-Ibijola, A. (2021). Chatbots applications in education: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100033>
- Page, M. J. (2021). *The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews*. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>
- Panqueban Pachon, D., & Huincahue Arcos, J. (2024). Inteligencia Artificial en educación matemática: Una revisión sistemática. *Uniciencia*. <https://doi.org/10.15359/ru.38-1.20>
- Ritter, S., Anderson, J. R., Koedinger, K. R., & Corbett, A. (2007). Cognitive Tutor: Applied research in mathematics education. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(2), 249-255. <https://doi.org/10.3758/BF03194060>
- Rundquist, R., Holmberg, K., Rack, J., Mohseni, Z., & Masiello, I. (2024). Use of Learning Analytics in K–12 Mathematics Education. *Journal of Learning Analytics*, 11(3), 174-191. <https://doi.org/10.18608/jla.2024.8299>
- Schorcht, S., Buchholtz, N., & Baumanns, L. (2024). *Frontiers | Prompt the problem – investigating the mathematics educational quality of AI-supported problem solving by comparing prompt techniques*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1386075>
- Stracke, C. M., Chounta, I.-A., & Holmes, W. (2023). A standardised PRISMA-based protocol for systematic reviews of the scientific literature on Artificial Intelligence and education (AI&ED). *Journal of Applied Learning and Teaching*, 6. <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.2.38>
- Tamur, M., Ndiung, S., Weinhandl, R., Wijaya, T. T., Jehadus, E., & Sennen, E. (2024). *META-ANALYSIS OF COMPUTER-BASED MATHEMATICS LEARNING IN THE LAST DECADE SCOPUS DATABASE: TRENDS AND IMPLICATIONS | Infinity Journal*. <https://e-journal.stkipsiliwangi.ac.id/index.php/infinity/article/view/3763>
- Vujinović, A., & Luburić, N. (2024). Using ChatGPT to annotate a dataset: A case study in intelligent tutoring systems. *Machine Learning with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100557>
- Xia, Q., Chiu, T., Lee, M., Temitayo, I., Dai, Y., & Chai, C. S. (2022). *A self-determination theory (SDT) design approach for inclusive and diverse artificial intelligence (AI) education—ScienceDirect*. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104582>
- Yi, L., Liu, D., Jiang, T., & Xian, Y. (2024). The Effectiveness of AI on K-12 Students' Mathematics Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(4), 1105-1126. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10499-7>
- Yoon, J., & Kwon, O. N. (2024). Systematic literature review on AI-based mathematics teaching and learning: Focusing on the role of AI and teachers. *The Mathematical Education*, 63(3), 573-591. <https://doi.org/10.63311/mathedu.2024.63.3.573>
- Zhou M., L., Y., & Wong, S. T. (2023). *Artificial intelligence in mathematics education: A systematic review of intelligent tutoring systems*. <https://doi.org/10.46328/ijemst.3189>