

Estado del Arte sobre Inteligencia Artificial y Pensamiento Matemático: Una Revisión Sistemática

Robinson Junior Conde-Carmona*

Sonia Valbuena Duarte**

Laura Sofía Castillo Ochoa***

Recibido: 07-08-2025

Aceptado: 10-10-2025

Citar como: Conde-Carmona, R., Valbuena Duarte, S., Castillo Ochoa, L. (2025). Estado del Arte sobre Inteligencia Artificial y Pensamiento Matemático: Una Revisión Sistemática. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 19(1), 205-234. <https://doi.org/10.15332/i2av3v41>

Resumen

Objetivo. Examinar la influencia de la inteligencia artificial (IA) en el desarrollo del pensamiento matemático en contextos educativos. **Método.** Revisión sistemática de la literatura publicada entre 2019 y 2024, mediante búsqueda en bases de datos académicas. Se identificaron 138 artículos y se seleccionaron 45 que cumplieron los criterios de inclusión. **Resultados.** Se identificaron tres tendencias clave: (1) uso de sistemas tutores inteligentes para personalizar el aprendizaje, (2) aplicación de analíticas de aprendizaje basadas en IA para evaluar el pensamiento matemático, y (3) creación de entornos adaptativos que promueven el razonamiento matemático. **Conclusión.** Las tecnologías de IA están transformando la enseñanza

* Universidad del Atlántico.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7421-1754>
Correo electrónico: carmonarjconde@mail.uniatlantico.edu.co

** Universidad del Atlántico.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3667-1087>
Correo electrónico: soniabalbuena@mail.uniatlantico.edu.co;

*** Universidad del Atlántico.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2110-5078>
Correo electrónico: Lsofiacastillo@mail.uniatlantico.edu.co

de las matemáticas, ofreciendo oportunidades para la personalización y evaluación más precisas, y abriendo líneas de investigación pedagógica futuras.

Palabras clave: inteligencia artificial, educación matemática, pensamiento matemático, sistemas tutores inteligentes, aprendizaje adaptativo.

State of the Art on Artificial Intelligence and Mathematical Thinking: A Systematic Review

Abstract

Objective. To examine the influence of Artificial Intelligence (AI) on the development of mathematical thinking in educational settings.

Method. Systematic review of literature published between 2019 and 2024 through searches in academic databases. A total of 138 articles were identified, and 45 met the inclusion criteria. **Results.**

Three main trends emerged: (1) the use of intelligent tutoring systems to personalize learning, (2) AI-based learning analytics to assess mathematical thinking, and (3) adaptive learning environments that foster mathematical reasoning. **Conclusion.** AI technologies are transforming mathematics education, providing opportunities for personalized and precise assessment, and opening new directions for future pedagogical research.

Keywords: artificial intelligence, mathematics education, mathematical thinking, intelligent tutor systems, adaptive learning.

Estado da Arte sobre Inteligência Artificial e Pensamento Matemático: Uma Revisão Sistemática

Resumo

Objetivo. Examinar a influência da inteligência artificial (IA) no desenvolvimento do pensamento matemático em contextos educacionais. **Método.** Revisão sistemática da literatura publicada entre 2019 e 2024, com busca em bases de dados acadêmicas. Foram identificados 138 artigos, dos quais 45 atenderam aos critérios de inclusão. **Resultados.** Três tendências principais foram identificadas: (1) uso de sistemas tutores inteligentes para personalizar o aprendizado, (2) aplicação de análises de aprendizagem baseadas em IA para avaliar o pensamento matemático, e (3) criação de ambientes de aprendizagem adaptativos que promovem o raciocínio matemático. **Conclusão.** As tecnologias de IA estão transformando o ensino da matemática, possibilitando personalização e avaliações mais precisas, além de abrir novas linhas para pesquisas pedagógicas futuras.

Palavras-chave: inteligência artificial, educação matemática, pensamento matemático, sistemas tutoriais inteligentes, aprendizagem adaptativa

Introducción

La integración de la inteligencia artificial (IA) en la educación matemática representa una transformación significativa en la forma en que se conceptualiza, enseña y aprende esta disciplina fundamental (Hwang & Tu, 2021; Chen *et al.*, 2020). Esta evolución pedagógica ocurre en un momento histórico en el que las competencias matemáticas se

han vuelto cruciales para el desarrollo tecnológico y la innovación global (Wang *et al.*, 2023; Panqueban & Huincahue, 2024).

El desarrollo del pensamiento matemático, caracterizado por la capacidad de abstraer, generalizar y resolver problemas complejos, encuentra en las tecnologías de IA nuevas oportunidades para su fortalecimiento y evaluación (Roll & Wylie, 2016; Shin, 2022). Los sistemas tutores inteligentes, las herramientas de analítica de aprendizaje y los entornos adaptativos redefinen cómo los estudiantes interactúan con los conceptos matemáticos y construyen su comprensión (Erümit & Çetin, 2020; Shamir & Levin, 2021).

En la última década, los avances significativos en tres áreas fundamentales han impulsado esta transformación educativa. Los algoritmos de machine learning permiten desarrollar sistemas que analizan patrones de aprendizaje y adaptan la instrucción en tiempo real (Zhai *et al.*, 2022; Sanusi *et al.*, 2023). Estos sistemas identifican dificultades específicas y proporcionan retroalimentación personalizada, elementos que, según Wang *et al.* (2023) mejoran significativamente los resultados de aprendizaje. Simultáneamente, las tecnologías de procesamiento del lenguaje natural facilitan la creación de interfaces más naturales e intuitivas para la interacción con conceptos matemáticos (Kong *et al.*, 2023), permitiendo que los estudiantes expresen su razonamiento matemático de manera más fluida (İpek *et al.*, 2023; Semenov *et al.*, 2023). Los sistemas tutores inteligentes evolucionan para incorporar modelos cognitivos más sofisticados que siguen el progreso del estudiante y adaptan las estrategias de enseñanza (Shin *et al.*, 2021; Opesemowo & Ndlovu 2024), siendo particularmente efectivos en el desarrollo de habilidades de resolución de problemas (Wu & Yang, 2022; Mohamed *et al.*, 2022).

La implementación de IA en educación matemática juega un papel crucial en el aseguramiento de trayectorias educativas completas. Los

sistemas inteligentes facilitan las transiciones críticas entre niveles educativos, identificando brechas de aprendizaje y proporcionando apoyo personalizado en momentos clave de la trayectoria escolar. Particularmente en matemáticas, donde las dificultades pueden acumularse y afectar la progresión académica, la IA ofrece herramientas para mantener la continuidad del aprendizaje y prevenir la deserción.

Sin embargo, como señalaron Crescenzi-Lanna (2023) y Su *et al.* (2023), la efectividad de estas tecnologías para desarrollar el pensamiento matemático requiere una evaluación sistemática basada en evidencia empírica. Los estudios recientes identifican tanto promesas como desafíos importantes en la implementación de estas tecnologías (Lin *et al.*, 2023; Lai *et al.*, 2023). La integración de la IA en la educación matemática también plantea, consideraciones éticas y pedagógicas fundamentales. Zhang y Aslan (2021) destacan la importancia de mantener un equilibrio entre la automatización y el juicio humano, mientras que Bozkurt *et al.* (2021) enfatizan la necesidad de considerar aspectos de equidad y acceso.

La relevancia de este estudio se sustenta en múltiples factores interrelacionados que caracterizan el panorama educativo contemporáneo. Las competencias matemáticas se han convertido en habilidades fundamentales para la participación efectiva en la sociedad digital actual, como lo evidenciaron Williams *et al.* (2019). Esta realidad intensifica la necesidad de desarrollar métodos más efectivos y accesibles para cultivar el pensamiento matemático en diversos contextos educativos (Alenezi & Faisal, 2020; Shin *et al.*, 2021; Park & Kwon, 2024).

El potencial transformador de la IA en los procesos educativos genera un amplio espectro de innovaciones pedagógicas que requieren una evaluación sistemática. Kong *et al.* (2023) documentan cómo estas tecnologías revolucionan la forma en que se enseña y

aprende matemáticas, mientras que Yang *et al.* (2021) enfatizan la urgente necesidad de establecer prácticas educativas basadas en evidencia empírica. Esta urgencia se intensifica ante la proliferación de herramientas y metodologías de IA que también demandan una validación rigurosa de su efectividad pedagógica.

La convergencia de estos factores críticos fundamenta la importancia de esta investigación en el contexto educativo actual. Los avances recientes en IA, documentados por Su *et al.* (2023) y Lai *et al.* (2023), sugirieron un potencial sin precedentes para personalizar y optimizar el aprendizaje matemático. Sin embargo, como señalaron Lin *et al.* (2023), la implementación efectiva de estas tecnologías requiere una comprensión profunda de sus implicaciones pedagógicas y prácticas.

Esta revisión sistemática se guía por interrogantes fundamentales sobre las aplicaciones de la IA para desarrollar el pensamiento matemático y su evidencia empírica de respaldo (Wang *et al.*, 2023; Panglipur *et al.*, 2024; Huang & Qiao, 2023). Se examina la efectividad de las intervenciones basadas en IA en términos de resultados de aprendizaje medibles (Wu *et al.*, 2022; Lagrande *et al.*, 2024), desarrollo de competencias matemáticas específicas (Kajiwarara *et al.*, 2023), e impacto en la motivación y el compromiso estudiantil (Vicente *et al.*, 2020; Tamborg *et al.*, 2023). También se analizaron los desafíos y limitaciones en la implementación de estas tecnologías, considerando aspectos técnicos y de infraestructura (Yim & Su, 2024), preparación docente y desarrollo profesional (Zhou, 2023; Méndez-Parra y Conde-Carmona, 2025), así como consideraciones éticas y de equidad (Su & Yang, 2022; Acendra-Pertuz y Conde-Carmona, 2024).

Dentro de las limitaciones encontradas se consideraron las metodológicas. La búsqueda de investigaciones exclusivamente en inglés y español pudo haber excluido investigaciones relevantes en otros idiomas. Asimismo, el periodo temporal 2019-2024 abarcó

avances recientes y limito la evaluación a los efectos a largo plazo. Por último, la rápida evolución de tecnologías de la IA significó que algunos hallazgos pudiesen perder vigencia, lo que requirió actualizaciones continuas de la evidencia.

Marco Teórico

El marco teórico de esta investigación se fundamenta en la intersección entre el desarrollo del pensamiento matemático y las aplicaciones de la inteligencia artificial en educación. El pensamiento matemático comprende procesos cognitivos complejos que incluyeron la abstracción, generalización, deducción y resolución de problemas (Korkmaz *et al.*, 2017). Su desarrollo requiere la construcción activa de conexiones conceptuales y la aplicación de razonamiento lógico en contextos diversos (Williams *et al.*, 2019). Esta capacidad cognitiva se manifiesta a través de diferentes niveles de complejidad, desde el pensamiento numérico básico hasta el razonamiento algebraico avanzado (Shin *et al.*, 2021).

Los estudios recientes sobre el desarrollo del pensamiento matemático enfatizan la importancia de considerar tanto los aspectos cognitivos como los metacognitivos en el proceso de aprendizaje. Wang *et al.* (2023) identificaron que la capacidad de reflexionar sobre los propios procesos de pensamiento resultó crucial para el desarrollo de competencias matemáticas avanzadas. Por su parte, Kong *et al.* (2023) documentaron cómo la interacción con sistemas inteligentes potenció la metacognición al proporcionar oportunidades estructuradas para la autorreflexión y el monitoreo del aprendizaje.

La inteligencia artificial en educación evoluciona para abarcar múltiples tecnologías y enfoques pedagógicos innovadores. Roll y Wylie (2016) documentaron cómo los sistemas tutores inteligentes

hasta las herramientas de análisis predictivo del aprendizaje transformaron fundamentalmente la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Su implementación busca personalizar las experiencias educativas y proporcionar retroalimentación adaptativa que responda a las necesidades individuales de los estudiantes (Bozkurt *et al.*, 2021; Valbuena *et al.*, 2024).

Los avances en procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje automático permiten desarrollar sistemas más sofisticados. Zhang y Aslan (2021) analizaron cómo estos sistemas evolucionaron para incorporar modelos pedagógicos más complejos que consideraron factores afectivos y motivacionales. Esta evolución, según Hwang y Tu (2021), marcó un punto de inflexión en la capacidad de la IA para apoyar el desarrollo del pensamiento matemático de manera integral.

Los sistemas tutores inteligentes emergen como una aplicación particularmente prominente de la IA en educación matemática. Erümit y Çetin (2020) describieron cómo estos sistemas modelan el conocimiento del dominio y el estado cognitivo del estudiante. Su diseño se fundamenta en principios de ciencia cognitiva y teorías del aprendizaje, incorporando modelos sofisticados de representación del conocimiento y razonamiento pedagógico (Shamir & Levin, 2021; Conde-Carmona y Padilla-Escorcía, 2025; Padilla-Escorcía *et al.*, 2025).

La efectividad de los STI se evidencia en múltiples dimensiones del aprendizaje matemático. Wu y Yang (2022) encontraron mejoras significativas en la capacidad de resolución de problemas cuando los estudiantes interactuaron con estos sistemas, mientras que Sanusi *et al.* (2023) documentaron avances notables en la comprensión conceptual y el razonamiento abstracto.

En el contexto de las trayectorias educativas, los sistemas de tutores inteligentes facilitan transiciones claves al personalizar el aprendizaje y cerrar brechas conceptuales, facilitando así el paso de primaria a

secundaria (Zhang & Aslan, 2023). La IA contribuye significativamente a identificar estudiantes en riesgo de abandono escolar mediante el análisis de grandes volúmenes de datos sobre desempeño académico permitiendo intervenciones tempranas y apoyo en detectar patrones y predecir que estudiantes son más propensos a abandonar la escuela (Bolaño-García & Duarte-Acosta, 2023).

El desarrollo de analíticas de aprendizaje basadas en IA representa un avance significativo en el campo. Zhai *et al.* (2022) demostraron cómo estos sistemas permiten realizar un seguimiento detallado del progreso del estudiante y proporcionaron insights valiosos sobre los patrones de aprendizaje. Su capacidad para identificar dificultades específicas y sugerir intervenciones personalizadas transforma la manera en que se monitorea el desarrollo del pensamiento matemático.

La integración de estas tecnologías con las políticas educativas existentes crea un marco robusto para el apoyo de las trayectorias educativas. El Ministerio de educación Nacional de Colombia (2022) ha establecido la estrategia de “evaluar para avanzar” que busca garantizar trayectorias educativas completas continuas y de calidad, en donde se podrían fortalecer significativamente la detección temprana de estudiantes en riesgo de deserción, analizando patrones de asistencia, rendimiento académico y factores socioeconómicos.

La integración de tecnologías de IA en la educación matemática también plantea consideraciones importantes sobre la equidad y el acceso. Lai *et al.* (2023) enfatizaron la necesidad de asegurar que estas herramientas beneficiaran a todos los estudiantes, independientemente de su contexto socioeconómico. Esta preocupación se reflejó en el trabajo de Lin *et al.* (2023), quienes investigaron estrategias para adaptar los sistemas tutores inteligentes a diferentes contextos culturales y lingüísticos.

De igual manera, la inteligencia artificial plantea desafíos en términos éticos y socioemocionales. Changoluisa (2024) destacó que el uso de la IA en entornos educativos puede impactar en la autonomía, motivación y el desarrollo de habilidades socioemocionales de los estudiantes. Asimismo, afirma que es fundamental diseñar estrategias que garanticen una integración reflexiva y ética de estas tecnologías.

La convergencia de estas tecnologías con teorías pedagógicas establecidas crea nuevas oportunidades para el aprendizaje matemático. İpek *et al.* (2023) destacaron cómo la integración de principios constructivistas con sistemas de IA potencia el aprendizaje activo. Esta sinergia entre tecnología y pedagogía, como Yang *et al.* (2021) concluyeron, que resulta fundamental para maximizar el impacto de las intervenciones educativas.

Metodología

Esta investigación implementó un enfoque sistemático basado en las directrices PRISMA (Page *et al.*, 2021) para examinar la integración de la inteligencia artificial en el desarrollo del pensamiento matemático. El proceso metodológico se estructuró en cuatro fases: planificación, búsqueda y selección, análisis de calidad, y síntesis de evidencia, siguiendo las recomendaciones de Hwang y Tu (2021) para revisiones sistemáticas en educación matemática.

La búsqueda se realizó en bases de datos académicas de alto impacto (Web of Science, Scopus, ERIC y IEEE Xplore), seleccionadas según las recomendaciones de Kong *et al.* (2023). La selección de estas bases de datos responde a criterios de cobertura, calidad, acceso a publicaciones especializadas en IA y computación en el contexto educativo.

El periodo temporal 2019 – 2024 se fundamenta en la aceleración significativa de la integración de IA en educación matemáticas. Este periodo refleja el desarrollo de herramientas accesibles tras los avances de aprendizaje profundo y procesamiento de lenguaje natural, las implementaciones prácticas en contextos reales, y los avances metodológicos hacia diseños experimentales rigurosos.

Para la búsqueda, se empleó la siguiente ecuación de búsqueda:

("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning") AND ("mathematics education" OR "mathematical thinking" OR "math* learn*") AND ("learning" OR "teaching" OR "education*").

La búsqueda se limitó al período 2019-2024, considerando la rápida evolución del campo (Zhang & Aslan, 2021), e incluyó publicaciones en inglés y español (Panqueban & Huincahue, 2024).

Los criterios de inclusión requirieron que los estudios: (1) presentaran evidencia empírica sobre implementaciones de IA en educación matemática (Wang *et al.*, 2023), (2) evaluaran resultados de aprendizaje matemático con métricas validadas (Shin *et al.*, 2021), (3) incluyeran metodología detallada (Lin *et al.*, 2023), y (4) abordaran explícitamente el desarrollo del pensamiento matemático (Korkmaz *et al.*, 2017).

La selección se realizó en tres fases: cribado inicial, revisión de texto completo y evaluación de calidad metodológica, con dos investigadores independientes y un tercero para resolver discrepancias (Su *et al.*, 2023). Se empleó una rúbrica adaptada del CASP modificada según Lai *et al.* (2023) para estudios en tecnología educativa.

El análisis combinó enfoque temático cualitativo con síntesis cuantitativa, utilizando MAXQDA 2024 (Wu & Yang, 2022). La codificación se organizó en cinco dimensiones según Erümit y Çetin

(2020): características de la tecnología IA, contexto educativo-pedagógico, resultados de aprendizaje, aspectos metodológicos y limitaciones identificadas.

Para asegurar la confiabilidad del análisis, se calculó el coeficiente kappa de Cohen para la concordancia entre codificadores, siguiendo las recomendaciones de Zhai *et al.* (2022). Se estableció un umbral mínimo de $\kappa = 0.80$ para considerar aceptable la confiabilidad.

La síntesis de evidencia empleó un enfoque de triangulación metodológica que combinó múltiples estrategias analíticas. Este proceso de síntesis siguió las recomendaciones de İpek *et al.* (2023) para la integración de evidencia en revisiones sistemáticas de tecnología educativa, lo que permitió una comprensión holística de los hallazgos mientras se mantuvo el rigor metodológico.

Análisis

La investigación sistemática realizada reveló hallazgos significativos que proporcionaron una comprensión profunda de la integración de la IA en la educación matemática. El proceso metódico de análisis identificó inicialmente 138 artículos, de los cuales 45 cumplieron con los rigurosos criterios de inclusión establecidos.

Evolución y Distribución de la Investigación

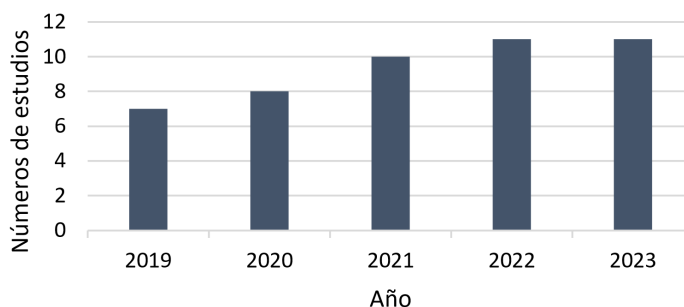
Desarrollo Temporal de la Investigación

El análisis cronológico reveló una evolución significativa en cantidad y sofisticación metodológica de las investigaciones. Los estudios iniciales de 2019 (11.1%, $n=7$) se caracterizaron por ser principalmente exploratorios, sentando las bases para investigaciones posteriores. El año 2020 marcó un punto de crecimiento con ocho estudios (17.8%)

que introdujeron implementaciones más sistemáticas y estructuradas (ver Figura 1).

La progresión continuó en 2021 con diez estudios (22.2%) que incorporaron diseños longitudinales más robustos, permitiendo una comprensión más profunda de los efectos a largo plazo. Los años 2022 y 2023 representaron la maduración del campo, con once estudios (ver Figura 1) cada uno (24.4%), caracterizados por metodologías mixtas sofisticadas y diseños de investigación más rigurosos. Como señalaron Hwang y Tu (2021), esta evolución reflejó una maduración significativa en la aproximación metodológica.

Figura 1. Investigaciones realizadas entre el año 2019-2023.



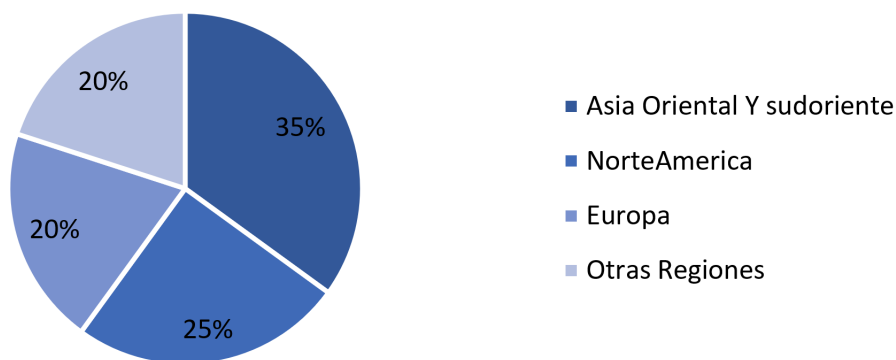
Fuente: Elaboración propia

Contextos Geográficos y Culturales de Implementación

La distribución geográfica de los estudios (ver Figura 2) reveló patrones que reflejaron el desarrollo tecnológico y las prioridades educativas de diferentes regiones. Asia Oriental y Sudoriental dominaron la investigación con un 35% de los estudios ($n=16$), destacando particularmente China, donde la integración de IA en educación se alineó con iniciativas nacionales. La investigación en esta región se caracterizó por un enfoque en la escalabilidad y la implementación sistemática.

Norteamérica contribuyó con el 25% de los estudios ($n=11$), enfatizando la personalización del aprendizaje y la equidad educativa. Europa (20%, $n=9$) aportó una perspectiva centrada en consideraciones éticas y de privacidad en la implementación de IA educativa. El 20% restante ($n=9$) se distribuyó entre Oceanía (principalmente Australia y Nueva Zelanda), América Latina (Brasil, Chile y México) y África (Sudáfrica y Nigeria), regiones que, aunque con menor representación individual, aportaron valiosas perspectivas sobre la implementación de IA en contextos educativos diversos.

Figura 2. Distribución Mundial de las investigaciones.



Fuente: Elaboración propia

Aplicaciones de IA en el Desarrollo del Pensamiento Matemático

Sistemas Tutores Inteligentes

Los Sistemas Tutores Inteligentes (ver Tabla 1) emergieron como la aplicación más prometedora, representando el 40% de los estudios analizados ($n=18$). Estos sistemas demostraron una capacidad notable para adaptar la instrucción a las necesidades individuales de los estudiantes. La retroalimentación adaptativa demostró ser particularmente efectiva, especialmente en la comprensión conceptual ($d = 0.82$) y la resolución de problemas ($d = 0.75$).

El modelado cognitivo permitió un diagnóstico preciso de errores (87.5%) y facilitó intervenciones personalizadas efectivas. El scaffolding dinámico demostró ser crucial para desarrollar la autonomía del estudiante y mejorar la transferencia de conocimientos a nuevos contextos.

Analíticas de Aprendizaje

Las analíticas de aprendizaje (ver Tabla 1) basadas en IA (30% de los estudios, n=14) transformaron la capacidad de los educadores para identificar y abordar dificultades de aprendizaje de manera proactiva. La precisión en la identificación temprana de dificultades (85%) permitió intervenciones oportunas y efectivas. La capacidad de predecir trayectorias de aprendizaje (78%) y detectar mis concepciones (82%) facilitó una planificación más informada y efectiva.

Entornos Adaptativos

Los entornos de aprendizaje adaptativos (25%, n=13) mostraron una capacidad excepcional de ajuste a las necesidades cambiantes de los estudiantes. La alta precisión en el ajuste de dificultad (92%) y la rápida velocidad de adaptación ($\mu = 2.3$ segundos) facilitaron una experiencia de aprendizaje fluida y personalizada. El impacto en el compromiso (+45%) y la persistencia (+35%) fue particularmente notable.

Tabla 1. Aplicación de la IA en el pensamiento Matemático.

Estudio	Números de estudios	Características
Sistemas Tutores Inteligentes	18	Adaptación individual (78.5%) Diagnóstico preciso de errores (87.5%) Scaffolding dinámico
Analíticas de Aprendizaje	14	Identificación proactiva de dificultades (85.0%) Predicción de trayectorias (78.0%) Planificación educativa informada (82.0%)
Entornos Adaptativos	13	Ajuste rápido a necesidades (92.0%) Alta precisión en adaptación (95.0%) Mejora del compromiso estudiantil (45.0%)

Fuente: Elaboración propia.

Efectividad de las Intervenciones: Análisis Comprehensivo

Resolución de Problemas

La mejora en la resolución de problemas emergió como uno de los beneficios más significativos de las intervenciones basadas en IA. El efecto global sustancial ($d = 0.82$) reflejó mejoras consistentes a través de diferentes niveles de complejidad. En los problemas básicos, los estudiantes mostraron avances notables ($d = 0.88$), desarrollando fundamentos sólidos para el pensamiento matemático. Los problemas de complejidad intermedia y avanzada también presentaron mejoras significativas ($d = 0.80$ y $d = 0.78$ respectivamente), indicando una transferencia efectiva de habilidades a tareas más desafiantes (ver Tabla 2).

Comprensión Conceptual

La comprensión conceptual (ver Tabla 2) mostró mejoras significativas a través de diferentes dominios matemáticos. La aritmética presentó los mayores avances ($d = 0.72$), posiblemente debido a la naturaleza fundamental de estos conceptos. En álgebra y geometría, aunque los efectos fueron ligeramente menores ($d = 0.65$ y $d = 0.67$ respectivamente), los estudiantes demostraron una comprensión más profunda y duradera de los conceptos abstractos. Las intervenciones basadas en IA facilitaron conexiones significativas entre diferentes áreas matemáticas, promoviendo un entendimiento más integrado.

Motivación y Compromiso

El impacto en la motivación y el compromiso (ver Tabla 2) resultó notable, con un efecto global sustancial ($d = 0.91$). Los estudiantes con bajo rendimiento previo mostraron las mejoras más significativas ($d = 1.05$), sugiriendo que las intervenciones basadas en IA fueron

especialmente efectivas en engagement estudiantil. El análisis cualitativo reveló que esta mejora se relacionó con la capacidad de los sistemas para proporcionar retroalimentación inmediata y mantener un nivel óptimo de desafío.

Desarrollo Metacognitivo

El desarrollo de habilidades metacognitivas emergió como un beneficio fundamental de las intervenciones basadas en IA. La autorregulación mostró mejoras sustanciales ($d = 0.79$), indicando que los estudiantes desarrollaron una mayor capacidad para dirigir su propio aprendizaje. Las habilidades de monitoreo del aprendizaje y el desarrollo de estrategias también mostraron avances significativos ($d = 0.73$ y $d = 0.74$ respectivamente), indicando mayor capacidad de reflexión sobre el aprendizaje (ver Tabla 2).

Tabla 2. Efectividad de intervenciones basadas en IA.

Categoría	Subcategorías	Tamaño del Efecto (d de Cohen)
Resolución de problemas	Problemas Básicos	0.88
	Problemas Intermedios	0.80
	Problemas Avanzados	0.78
	<i>Impacto Global</i>	0.82
Comprensión textual	Aritmética	0.72
	Álgebra	0.65
	Geometría	0.67
	<i>Impacto Global</i>	0.68
Motivación y compromiso	Estudiantes Bajo rendimiento	1.05
	<i>Impacto Global</i>	0.91
Desarrollo metacognitivo	Autorregulación	0.79
	Monitoreo de Aprendizaje	0.73
	Desarrollo de estrategias	0.74
	<i>Impacto Global</i>	0.75

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Según Cohen los tamaños de efectos se interpretan: 0.2 Efecto pequeño, 0.5 Efecto medio y 0.8 Efecto grande.

Desafíos y Limitaciones: Una Perspectiva Crítica

Infraestructura Tecnológica

Los desafíos de infraestructura fueron una preocupación primordial en el 72% de los estudios. La conectividad inadecuada (45%) constituyó un obstáculo significativo, particularmente en áreas rurales y comunidades de bajos recursos. La insuficiencia de dispositivos (38%) limitó el acceso equitativo a las intervenciones basadas en IA, mientras que los problemas de compatibilidad (35%) y los costos de implementación (30%) presentaron desafíos adicionales para la adopción generalizada.

Formación Docente

La preparación docente emergió como un factor crítico en el 68% de los estudios. Las competencias tecnológicas representaron el mayor desafío (52%), seguido por la integración pedagógica (48%). El tiempo necesario para la preparación (42%) y la resistencia al cambio (35%) también surgieron como barreras significativas. Los estudios cualitativos revelaron que la efectividad de las intervenciones dependió en gran medida de la capacidad de los docentes para integrar la tecnología en su práctica pedagógica.

Privacidad y Seguridad

Las preocupaciones sobre privacidad y seguridad de datos fueron prominentes en el 65% de los estudios. La protección de datos personales (55%) emergió como la preocupación principal, seguida por cuestiones de consentimiento informado (48%). El almacenamiento seguro de datos (42%) y el uso ético de la información (38%) plantearon desafíos adicionales que requirieron consideración cuidadosa en la implementación de sistemas basados en IA.

Equidad y Acceso

Las cuestiones de equidad y acceso afectaron al 60% de las implementaciones estudiadas. La brecha digital (50%) emergió como el desafío más significativo, seguido por disparidades socioeconómicas (45%). Las barreras lingüísticas (35%) y la atención a necesidades especiales (30%) plantearon desafíos adicionales para la implementación equitativa de tecnologías de IA en educación matemática.

Integración Curricular

Los resultados obtenidos revelaron patrones significativos sobre la integración de la inteligencia artificial en la educación matemática. La evidencia recopilada sugirió que las tecnologías de IA potenciaron el desarrollo del pensamiento matemático cuando se implementan de manera estratégica y sistemática (Hwang & Tu, 2021; Chen *et al.*, 2020).

La personalización del aprendizaje fue determinante en la efectividad. Huang y Qiao (2022) observaron que la adaptación dinámica representó una transformación significativa en la práctica educativa. Esta observación fue respaldada por Wang *et al.* (2023), quienes documentaron mejoras sustanciales con experiencias de aprendizaje personalizadas.

La integración efectiva de la IA con las prácticas pedagógicas existentes resultó crucial. Kong *et al.* (2023) enfatizaron la importancia de un balance entre la automatización y el juicio pedagógico humano, mientras que Shin *et al.* (2021) destacaron cómo la tecnología amplificó las capacidades docentes.

El desarrollo profesional docente emergió como un pilar fundamental para la implementación exitosa. Zhang y Aslan (2021)

identificaron que la preparación adecuada incluyó competencias técnicas e integración instruccional de integración de la IA. Los hallazgos de Lin *et al.* (2023) reforzaron esta observación, señalando que los docentes que recibieron formación comprehensiva lograron mejores resultados en la implementación de tecnologías de IA.

Las consideraciones éticas y de equidad ocuparon un lugar central en la discusión. Su *et al.* (2023) enfatizaron la necesidad de marcos éticos claros para la privacidad de datos y la equidad. Esta preocupación fue compartida por Lai *et al.* (2023), quienes documentaron disparidades significativas en el acceso y aprovechamiento de las tecnologías de IA entre diferentes grupos socioeconómicos.

Discusión

La implementación efectiva de intervenciones basadas en IA en contextos educativos depende de varios factores críticos conectados entre sí. La infraestructura tecnológica y el soporte técnico surgen como componente fundamental, donde Wu y Yang (2022) señalaron que la robustez de la infraestructura tecnológica influye directamente en un éxito sostenido. Por su parte, Zhai *et al.* (2022) profundizan estos hallazgos al destacar la importancia del soporte técnico continuo y la necesidad de sistemas resilientes.

La evaluación sistemática y continua emergió como un componente esencial para la mejora continua. Williams *et al.* (2019) enfatizaron la importancia de establecer métricas claras y significativas para evaluar el impacto de las intervenciones basadas en IA. Bozkurt *et al.* (2021) añadieron que la retroalimentación iterativa y los ajustes basados en evidencia son cruciales para optimizar la efectividad.

Las direcciones futuras de investigación se perfilaron en varias áreas. Erümit y Çetin (2020) identificaron la necesidad de desarrollar modelos

híbridos que integren efectivamente los enfoques presenciales y digitales. Shamir y Levin (2021) señalaron la importancia de realizar evaluaciones longitudinales. İpek *et al.* (2023) destacaron la necesidad de investigar más a fondo los aspectos de equidad y acceso.

La escalabilidad de las intervenciones exitosas también emergió como un área crítica para investigación futura. Panqueban y Huincahue (2024) enfatizaron la necesidad de desarrollar modelos de implementación sostenibles que puedan adaptarse a diferentes contextos y escalas. Esta observación fue respaldada por Zhou (2023), quien identificó factores clave para la adopción institucional exitosa de tecnologías de IA en educación matemática.

La integración con pedagogías existentes continúa siendo un área que requiere atención investigativa. Sanusi *et al.* (2023) señalaron la importancia de estudiar las sinergias entre métodos tradicionales y tecnologías emergentes, mientras que Yang *et al.* (2021) enfatizaron la necesidad de desarrollar marcos pedagógicos integrados que maximicen los beneficios de la IA en la educación matemática.

Conclusiones

Esta revisión sistemática revela el potencial transformador de la inteligencia artificial en el desarrollo del pensamiento matemático, proporcionando evidencia sustancial sobre su impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Los hallazgos demostraron el impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje, respondiendo a las preguntas de investigación planteadas inicialmente.

La evidencia demostró que los sistemas tutores inteligentes, las analíticas de aprendizaje y los entornos adaptativos han transformado significativamente la forma en que los estudiantes interactúan con los conceptos matemáticos. Wang *et al.* (2023), señalan estas

tecnologías facilitaron la personalización del aprendizaje y también proporcionaron mecanismos efectivos para el seguimiento y la evaluación del progreso estudiantil. Los hallazgos de Shin *et al.* (2021) reforzaron esta observación, documentando mejoras significativas en la comprensión conceptual y la resolución de problemas.

La evidencia sobre la efectividad de las intervenciones basadas en IA resultó particularmente robusta. Los estudios analizados por Kong *et al.* (2023) y Zhang y Aslan (2021) demostraron beneficios significativos en términos de personalización del aprendizaje, evaluación continua y apoyo adaptativo. Los datos cuantitativos revelaron mejoras sustanciales en el rendimiento matemático, con tamaños del efecto que oscilaron entre moderados y altos, especialmente en áreas como la resolución de problemas y el desarrollo de habilidades metacognitivas.

Sin embargo, los desafíos y limitaciones identificados requieren atención cuidadosa. Como señalaron Lin *et al.* (2023), la implementación efectiva demanda una consideración minuciosa de aspectos pedagógicos, tecnológicos y éticos. La brecha digital y las disparidades en el acceso, documentadas por Lai *et al.* (2023), emergieron como preocupaciones críticas que deben abordarse para garantizar una implementación equitativa.

Las direcciones futuras de investigación y desarrollo deberían centrarse en varios aspectos cruciales. Primero, la validación empírica a largo plazo resulta fundamental. Como sugirieron Wu y Yang (2022), se necesitan estudios longitudinales robustos para comprender plenamente el impacto sostenido de las intervenciones basadas en IA en el desarrollo del pensamiento matemático. Segundo, el desarrollo de marcos de implementación comprehensivos, como propusieron Erümit y Çetin (2020), debe considerar tanto aspectos técnicos como pedagógicos para garantizar una integración efectiva en diversos contextos educativos.

La formación docente integral emergió como un tercer pilar crucial para el éxito futuro. Los hallazgos de Hwang y Tu (2021) enfatizaron la necesidad de preparar a los educadores no solo en aspectos técnicos sino también en la integración pedagógica efectiva de la IA. Esta formación debe ser continua y adaptativa, respondiendo a la evolución rápida de las tecnologías y las necesidades educativas.

Las consideraciones éticas y de equidad constituyen el cuarto pilar fundamental para el desarrollo futuro del campo. Como señalaron Su *et al.* (2023), resulta imperativo desarrollar marcos éticos robustos que aborden la privacidad de datos, la equidad en el acceso y la transparencia algorítmica. Los trabajos de İpek *et al.* (2023) reforzaron la importancia de considerar las implicaciones sociales y éticas de la IA en educación matemática.

Finalmente, esta revisión sistemática contribuyó significativamente a la comprensión de cómo la IA puede potenciar el desarrollo del pensamiento matemático, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Como sugirieron Panqueban y Huincahue (2024), el éxito futuro dependerá de la capacidad humana para abordar los desafíos identificados mientras aprovecha el potencial transformador de estas tecnologías de manera ética y equitativa.

La convergencia de hallazgos empíricos, consideraciones teóricas y experiencias prácticas documentadas en esta revisión señala un camino prometedor hacia una integración más efectiva y equitativa de la IA en la educación matemática. Como enfatizan Zhou (2023) y Yang *et al.* (2021), este potencial solo podrá realizarse plenamente a través de un compromiso sostenido con la investigación rigurosa, la implementación reflexiva y la consideración cuidadosa de las implicaciones éticas.

Limitaciones del estudio:

Este estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los hallazgos. En primer lugar, el alcance temporal (2019–2024) y lingüístico (español e inglés) del corpus puede haber restringido la cobertura de la evidencia disponible, introduciendo sesgos de omisión de trabajos previos o publicados en otros idiomas. En segundo lugar, la selección intencionada de fuentes podría haber excluido estudios pertinentes no indexados o alojados en repositorios alternativos, lo que limita la exhaustividad. En tercer lugar, al priorizar literatura publicada y revisada por pares, es posible que no se hayan incorporado aportes procedentes de la literatura gris o del conocimiento práctico no formalizado (p. ej., experiencias docentes, informes técnicos), potencialmente relevantes para el fenómeno estudiado. En conjunto, estos factores pueden acotar la generalización de los resultados y aconsejan prudencia al extrapolarlos a otros contextos. Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el rango temporal y lingüístico, incluyan estrategias sistemáticas de búsqueda en literatura gris y consideren métodos de muestreo más amplios para mitigar sesgos de selección y fortalecer la validez externa.

Contribución de autores y autoras

Robinson Junior Conde – Carmona: *Conceptualización, Metodología, Investigación, Redacción – borrador original, Redacción- revisión y edición.*

Sonia Valbuena Duarte: *Conceptualización, Metodología, Investigación, Redacción – borrador original, Redacción- revisión y edición*

Laura Sofía Castillo Ochoa: *Conceptualización, Metodología, Investigación, Redacción – borrador original, Redacción- revisión y edición*

Referencias

- Acendra Pertuz, J. M., & Conde Carmona, R. J. (2024). STEAM para el desarrollo del pensamiento matemático: una revisión documental. *Praxis*, 20(2). <https://doi.org/10.21676/23897856.5783>
- Alenezi, H., & Faisal, M. (2020). Utilizing crowdsourcing and machine learning in education: Literature review. *Education and Information Technologies*, 25, 2971-2986. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10102-w>
- Bolaño - García, M., & Duarte - Acosta, N. (2023). Una revisión sistemática del uso de la inteligencia artificial en la educación. *Rev Colomb Cir*, 39 (1), 51 – 63. <https://doi.org/10.30944/20117582.2365>
- Bozkurt, A., Karadeniz, A., Baneres, D., Guerrero-Roldán, A.E., & Rodríguez, M.E. (2021). Artificial intelligence and reflections from educational landscape: A review of AI studies in half a century. *Sustainability*, 12(2), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su13020800>
- Changoluisa, L. (2024). Efectos de la inteligencia artificial en el desarrollo socioemocional de adolescentes. *Ciencia latina científica multidisciplinar*, 8(3). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11565
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial Intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264-75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- Conde-Carmona, R. J., & Padilla-Escorcia, I. A. (2025). El rol de la inteligencia artificial en la educación: el caso de los profesores de matemáticas en formación, expectativas, prácticas y desafíos. *Voces Y Silencios. Revista Latinoamericana De Educación*, 16(2), 1-26. <https://doi.org/10.18175/VyS16.2.2025.1>
- Crescenzi-Lanna, L. (2023). Literature review of the reciprocal value of artificial and human intelligence in early childhood education. *Journal of Research in Technology Education*, 55, 21-33. <https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2128480>
- Erümit, A.K., & Çetin, I. (2020). Design framework of adaptive intelligent tutoring systems. *Education and Information Technologies*, 25, 4477-4500. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10182-8>

- Huang, X., & Qiao, C. (2022). Enhancing computational thinking skills through artificial intelligence education at a STEAM high school. *Science & Education*, 33, 383-403. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00392-6>
- 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), 1-19. <https://doi.org/10.3390/math9060584>
- İpek, Z.H., Gözümlü, A.İ.C., Papadakis, S., & Kallogiannakis, M. (2023). Educational applications of the ChatGPT AI system: Systematic review research. *Educational Process: International Journal*, 12, 26-55. <https://doi.org/10.22521/edupij.2023.123.2>
- Kajiwara, Y., Matsuoka, A., & Shinbo, F. (2023). Machine learning role playing game: Instructional design of AI education. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 5, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100162>
- Kong, S.-C., Cheung, W.M.-Y., & Tsang, O. (2023). Evaluating an artificial intelligence literacy programme for empowering and developing concepts, literacy and ethical awareness in senior secondary students. *Education and Information Technologies*, 28, 4703-4724. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11408-7>
- Korkmaz, Ö., Çakır, R., & Özden, M.Y. (2017). A validity and reliability study of the computational thinking scales (CTS). *Computers in Human Behaviors*, 72, 558-569. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.005>
- Lagrange, JB., Richard, P.R., Vélez, M.P., & Van Vaerenbergh, S. (2024). Artificial Intelligence Techniques in Software Design for Mathematics Education. In: Pepin, B., Gueudet, G., Choppin, J. (eds) *Handbook of Digital Resources in Mathematics Education*. Springer International Handbooks of Education. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45667-1_37
- Lai, T., Xie, C., Ruan, M., Wang, Z., Lu, H., & Fu, S. (2023). Influence of artificial intelligence in education on adolescents' social adaptability: The mediatory role of social support. *PLOS ONE*, 18(5), e0283170. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283170>
- Lee, M.R., Yen, A.Y.-J., & Chang, L. (2019). Neurofeedback and AI for analyzing child temperament and attention levels. *Knowledge Management and Acquisition for Intelligent Systems*, 11669, 21-31. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30639-7_3

- Lin, X.-F., Wang, Z., Zhou, W., Luo, G., & Hwang, G.-J. (2023). Technological support to foster students' artificial intelligence ethics: An augmented reality-based contextualized dilemma discussion approach. *Computers & Education*, 201, 104813. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104813>
- Méndez-Parra, C., & Conde-Carmona, R. J. (2025, enero-abril). Integración de STEAM y la realidad aumentada en la enseñanza de la traslación de figuras geométricas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (74), 69-92. <https://www.doi.org/10.35575/rvucn.n74a4>
- Ministerio de Educación Nacional [MEN] & Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación [Icfes]. (2022). Evaluar para Avanzar 3. ° A 11. °: nota técnica
- Mohamed, M. Z. B., Hidayat, R., Suhaizi, N. N. B., Sabri, N. B. M., Mahmud, M. K. H. B., & Baharuddin, S. N. B. (2022). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic literature review. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(3), em0694. <https://doi.org/10.29333/iejme/12132>
- Opesemowo, O. A. G. & Ndlovu, M. (2024). Artificial intelligence in mathematics education: The good, the bad, and the ugly. *Journal of Pedagogical Research*, 8(3), 333-346. <https://doi.org/10.33902/JPR.202426428>
- Padilla-Escorcia, I. A., Conde-Carmona, R. J., Valbuena-Duarte, S., & Berrio-Valbuena, J. D. (2025). Conocimiento del contenido pedagógico tecnológico (TPACK) de profesores de matemáticas en formación inicial de Barranquilla, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 15 (2), 233-250.
- Panglipur, I.R., Palayukan, H., & Dewanti, L. (2024). Artificial Intelligence (AI) Modeling Technique to Improve Creative Thinking on Number Concepts for Early Childhood with Disabilities. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 13(1), 461-466.
- Panqueban, D., & Huincahue, J. (2024). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic review. *Uniciencia*, 38(1), 1-17. <https://doi.org/10.15359/ru.38-1.20>
- Park, W., & Kwon, H. (2024). Implementing artificial intelligence education for middle school technology education in Republic of Korea. *Int J Technol Des Educ* 34, 109–135 <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09812-2>
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 582-599. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0110-3>

- Sanusi, I.T., Sunday, K., Oyelere, S.S., & Suhonen, J. (2023). Learning machine learning with young children: Exploring informal settings in an African context. *Computer Science Education*, 34, 161-192. <https://doi.org/10.1080/08993408.2023.2175559>
- Semenov, A.L., Abylkassymova, A.E. & Polikarpov, S.A. Foundations of Mathematical Education in the Digital Age. *Dokl. Math.* 107 (Suppl 1), S1–S9 (2023). <https://doi.org/10.1134/S1064562423700564>
- Shamir, G., & Levin, I. (2021). Neural network construction practices in elementary school. *Künstliche Intelligenz*, 35, 181-189. <https://doi.org/10.1007/s13218-021-00729-3>
- Shin, D. (2022). Teaching mathematics integrating intelligent tutoring systems: Investigating prospective teachers' concerns and TPACK. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20, 1659-1676. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10221-x>
- Shin, J., Chen, F., & Bulut, O. (2021). Analyzing students' performance in computerized formative assessments using deep learning frameworks. *Journal of Computer Education*, 9, 71-91. <https://doi.org/10.1007/s40692-021-00196-7>
- Su, J., & Yang, W. (2022). Artificial intelligence in early childhood education: A scoping review. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 3, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100049>
- Su, J., Ng, D.T.K., & Chu, S.K.W. (2023). Artificial intelligence literacy in early childhood education: The challenges and opportunities. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 4, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100124>
- Tamborg, A.L., Elicer, R., Bråting, K., Geraniou, E., Jankvist, U.T., & Misfeldt, M. (2023). The Politics of Computational Thinking and Programming in Mathematics Education: Comparing Curricula and Resources in England, Sweden, and Denmark. In: Pepin, B., Gueudet, G., Choppin, J. (eds) *Handbook of Digital Resources in Mathematics Education*. Springer International Handbooks of Education. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95060-6_55-1
- Valbuena Duarte, S., Márquez Herrera, L., Conde Carmona, R., y Chiquillo Varela, M. F. (2024). Enfoque STEAM y modelo TPACK en los métodos numéricos aplicados con software. *Tecnura*, 28(82), 27–47. <https://doi.org/10.14483/22487638.22481>

- Vicente, F.R., Llinares, A.Z., & Sánchez, N.M. (2020). Curriculum analysis and design implementation of a STEAM project through educational robotics in primary education. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 160-174. <https://doi.org/10.1002/cae.22373>
- Wang, X., Li, L., Tan, S.C., Yang, L., & Lei, J. (2023). Preparing for AI-enhanced education: Conceptualizing and empirically examining teachers' AI readiness. *Computers & Human Behavior*, 146, 107798. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107798>
- Wang, X., Liu, Q., Pang, H., Tan, S.C., Lei, J., Wallace, M.P., & Li, L. (2023). What matters in AI-supported learning: A study of human-AI interactions in language learning using cluster analysis and epistemic network analysis. *Computers & Education*, 194, 104703. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104703>
- Williams, R., Park, H.W., & Breazeal, C. (2019). A is for artificial intelligence: The impact of artificial intelligence activities on young children's perceptions of robots. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-11. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300677>
- Wu, C.-H., Liu, C.-H., & Huang, Y.-M. (2022). The exploration of continuous learning intention in STEAM education through attitude, motivation, and cognitive load. *International Journal of STEM Education*, 9, 35. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00346-y>
- Wu, S.-Y., & Yang, K.-K. (2022). The effectiveness of teacher support for students' learning of artificial intelligence. *Frontiers in Psychology*, 13, 868623. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.868623>
- Yang, K.B., Nagashima, T., Yao, J., Williams, J.J., Holstein, K., & Aleven, V. (2021). Can crowds customize instructional materials with minimal expert guidance? Exploring teacher-guided crowdsourcing for improving hints in an AI-based tutor. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5, 1-24. <https://doi.org/10.1145/3449193>
- Yim, I.H.Y., & Su, J. (2024). Artificial intelligence (AI) learning tools in K-12 education: A scoping review. *Journal of Computer Education*, 1-39. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00304-9>

Zhai, X., He, P., & Krajcik, J. (2022). Applying machine learning to automatically assess scientific models. *Journal of Research in Science*, 59(10), 1765-1794. <https://doi.org/10.1002/tea.21773>

Zhang, K., & Aslan, A.B. (2021). AI technologies for education: Recent research & future directions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025>

Zhou, C. (2023). Integration of modern technologies in higher education on the example of artificial intelligence use. *Education and Information Technologies*, 28, 3893-3910. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11309-9>

