



Inteligencia Artificial en educación matemática: Una revisión sistemática

Artificial Intelligence in Mathematics Education: A Systematic Review

Inteligência artificial na educação matemática: Uma revisão sistemática

Darlis Panqueban¹, Jaime Huincahue^{2*}

Received: Aug/27/2023 • Accepted: Mar/4/2024 • Published: Aug/31/2024

Resumen

[Objetivo] El objetivo de este estudio es analizar el estado actual de la investigación en inteligencia artificial en el ámbito de la educación matemática, su aplicación y rol en los procesos de enseñanza y aprendizaje. **[Metodología]** Se realizó una revisión sistemática a la literatura que sigue las siguientes etapas: identificación, selección e inclusión de artículos de tres bases de datos reconocidas, resultando 29 artículos, que fueron sometidos a un análisis minucioso para la detección de participantes, instrumentos utilizados, país de la filiación de los autores, año de publicación, tipo de investigación, enfoque metodológico y el rol de la inteligencia artificial en estos estudios. **[Resultados]** Se identifica un claro aumento de la investigación vinculada a la inteligencia artificial en educación matemática, la mayoría de carácter empírico y de tipo cuantitativa, los instrumentos más frecuentes son el cuestionario y la entrevista, la mitad de los estudios utilizan, al menos, dos instrumentos de recolección de los datos. También, la mayoría de los estudios se centró en sistemas de aprendizaje inteligente para mejorar el aprendizaje y apoyo a la enseñanza, para la evaluación en línea. **[Conclusiones]** En los artículos estudiados no se evidencia investigaciones en el nivel de educación infantil y muy poco relacionadas a la formación de profesores. En pocas investigaciones se evidencia la utilización de marco o enfoque teóricos de la Didáctica de la Matemática.

Palabras claves: educación matemática; IA; inteligencia artificial; matemática; revisión sistemática; sistemas de tutoría inteligente

Abstract

[Objective] This study seeks to analyze the current state of research in artificial intelligence in the field of mathematics education, its application, and its role in teaching and learning processes. **[Methodology]** A systematic review of the literature was carried out based on the following steps: identification, selection, and inclusion of articles from three recognized databases. Twenty-nine articles were obtained and subjected to a thorough analysis to determine participants, instruments used, country of authors' affiliation, year of publication, type of research, methodological approach, and the role of artificial intelligence in these

* Corresponding author

Darlis Panqueban, ✉ darlis.panqueban@alumnos.ucm.cl,  <https://orcid.org/0009-0006-6257-9099>

Jaime Huincahue, ✉ jhuincahue@ucm.cl,  <https://orcid.org/0000-0003-0749-0551>

1 Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

2 Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Maule, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.



studies. **[Results]** A clear increase in research linked to artificial intelligence in mathematics education was detected. The majority of this research was of an empirical and quantitative nature, while the most frequent instruments used were questionnaires and interviews, and half of the studies used at least two data collection instruments. Also, most of the studies focused on intelligent learning systems to enhance learning and support teaching through online assessment. **[Conclusions]** The articles reviewed showed no evidence of research at the level of early childhood education and very little content related to teacher training. The use of a theoretical framework or approach to Mathematics Didactics was found in a few studies.

Keywords: Mathematics education; AI; artificial intelligence; mathematics; systematic review; intelligent tutoring systems.

Resumo

[Objetivo] O objetivo deste estudo é analisar o estado atual da pesquisa em inteligência artificial no campo da educação matemática, sua aplicação e seu papel nos processos de ensino e aprendizagem. **[Metodologia]** Realizou-se uma revisão sistemática da literatura nas seguintes etapas: identificação, seleção e inclusão de artigos de três base de dados reconhecidas, resultando em 29 artigos, que foram submetidos a uma análise minuciosa para a detecção de participantes, instrumentos utilizados, país de afiliação dos autores, ano de publicação, tipo de pesquisa, abordagem metodológica e o papel da inteligência artificial nesses estudos. **[Resultados]** Identifica-se um claro aumento de pesquisas relacionadas à inteligência artificial na educação matemática, a maioria delas empírica e quantitativa, os instrumentos mais frequentes são o questionário e a entrevista, sendo que metade dos estudos utiliza pelo menos dois instrumentos para a coleta de dados. Além disso, a maioria dos estudos se concentrou em sistemas inteligentes de aprendizagem para aprimorar a aprendizagem e o suporte ao ensino para avaliação on-line. **[Conclusões]** Nos artigos estudados, não há evidências de pesquisas no âmbito da educação infantil e muito pouco relacionado à formação de professores. Em poucos estudos de pesquisa há evidências do uso de uma estrutura ou abordagem teórica para a Didática da Matemática.

Palavras-chave: educação matemática; IA; inteligência artificial; matemática; revisão sistemática; sistemas de tutoria inteligente

Introducción

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) en la educación matemática ha motivado diversas iniciativas investigativas en el nivel internacional (Shin, 2022; Hsu et al., 2021; Zhou, 2023) centradas, principalmente, en analizar el impacto de la inteligencia artificial en la enseñanza y aprendizaje de la matemática (Hwang y Tu, 2021; Zhang y Aslan, 2021), esto, a partir del creciente y progresivo uso que los estudiantes están haciendo para los desafíos escolares,

siendo necesario identificar cómo el área de la investigación educativa puede brindar orientaciones que impacten en la enseñanza y en el aprendizaje.

En sus comienzos, la IA se focalizó en todo tipo de tareas de resolución de problemas, tales como probar teoremas o jugar ajedrez, vinculantes con la toma de decisiones, tradicionalmente modeladas mediante un árbol de decisiones para encontrar una estrategia para resolver el problema (Abeliuk y Gutiérrez, 2021). En la actualidad, la IA se ha expandido a diversos contextos y



aplicaciones, tales como el reconocimiento facial, el aprendizaje de idiomas, el procesamiento de imágenes y lenguaje natural, entre muchas otras áreas, identificando a la educación (matemática) como un área de interés para los procesos de enseñanza y aprendizaje (Zhang y Aslan, 2021). Al respecto, Jara y Ochoa (2020) identifican su uso en la personalización del aprendizaje, la colaboración entre estudiantes o el juego como experiencia de aprendizaje, pero además, la IA ha sido un especial colaborador con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), las cuales, en la actividad escolar, han estado mediadas por políticas públicas y diferentes olas tecnológicas que han llevado a implementar pizarras digitales, tabletas, computadores, acceso a internet o recursos tecnológicos con colaboración de la IA (Jara y Ochoa, 2020).

Tales olas tecnológicas también impactan la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Según Bakker *et al.* (2021) la educación matemática enfrenta algunos desafíos, como la incorporación de nuevos enfoques de enseñanza, la investigación en diversos contextos, usos de recursos de baja tecnología, mantenerse en línea y la evaluación en línea, reconociendo a la IA como un motor que puede contribuir a la solución de algunos de estos problemas (Chen *et al.*, 2020; Hwang y Tu, 2021). Por ejemplo, en Zhou (2023) se desarrolló un programa basado en el aprendizaje personalizado asistido por computadora, mostrando que mejoró el desempeño académico y la motivación de los estudiantes en cinco asignaturas diferentes.

En este contexto, y de acuerdo con la literatura revisada, los esfuerzos por sistematizar el estado del arte sobre IA en educación matemática son evidentes al analizar las revisiones sistemáticas en idioma inglés (e.g., Zhang y Aslan, 2021; Mohamed *et al.*,

2022). Sin embargo, para el caso de la investigación en Hispanoamérica, aun no se han hallado revisiones a la literatura que den cuenta de cómo las diferentes tecnologías se pueden utilizar en el marco de la educación. Por ello, el objetivo de la presente revisión sistemática es analizar el estado actual de la investigación en inteligencia artificial en el ámbito de la educación matemática, su aplicación y rol en los procesos de enseñanza y aprendizaje, sus propósitos y métodos utilizados. Se espera que este análisis ayude a una mejor comprensión de los conceptos que sustentan la investigación en IA, con alcances para la educación matemática y alentar nuevas investigaciones.

Marco conceptual

Inteligencia artificial

En la Conferencia Internacional sobre la Inteligencia Artificial y la educación realizada en Beijing en el año 2019, se estableció un consenso sobre la implementación de la IA en relación con la educación, definiendo como temas principales la planificación de la IA en las políticas educativas para la gestión y la participación de la educación, para el apoyo a la docencia y a los docentes, para el aprendizaje y la evaluación del aprendizaje, para el seguimiento, evaluación e investigación (UNESCO, 2019), evidenciando la importancia que está cobrando la IA en el ámbito educativo y todos los aspectos de la docencia que pueden ser favorecidos; por lo tanto, es necesario clarificar algunos términos o conceptos usados en el ámbito de la IA para referirse a ciertas tecnologías aplicadas a la educación, como son el sistema de tutoría inteligente, el aprendizaje automático, chatbot y robótica.



Sistema de tutoría inteligente

Los Sistemas de Tutoría Inteligentes (STI) son entornos de aprendizaje computarizados que imitan el estilo de enseñanza del profesor para brindar apoyo al estudiante, de tal manera de adaptarse a las necesidades de aprendizaje que se ajustan a sus perfiles (Erümit y Çetin, 2020; Lippert *et al.*, 2020; Sharma y Harkishan, 2022). Es decir, los sistemas de tutoría inteligentes se adaptan al contenidos o conceptos, a los métodos de enseñanza y a las necesidades de los estudiantes de manera individual (Lippert *et al.*, 2020). En este sentido, una de sus funciones plantea que la principal función del STI es “evaluar la adquisición de conocimientos de los estudiantes durante el proceso educativo” (Erümit y Çetin, 2020, p. 4478).

Aprendizaje automático o Machine Learning

El Aprendizaje automático es un tipo de IA que propone métodos de análisis de datos que automatizan el análisis de datos, con lo cual desarrolla algoritmos que le permiten aprender a partir de los datos y realizar predicciones (Alenezi y Faisal, 2020; Chen *et al.*, 2020; Webb *et al.*, 2021). El aprendizaje automático puede construir aplicaciones inteligentes cuyos sistemas de comportamientos puedan imitar el cerebro humano, estas aplicaciones pueden ser controladas mediante la interacción entre el humano y el computador (Chen *et al.*, 2020).

Chatbots

Los chatbots son agentes conversacionales; es decir, un *software* informático que tiene la capacidad de entablar una conversación o simula una comunicación en la cual brinda información y servicios, a

través de la interacción en lenguaje común o cotidiano (Følstad *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2020). Los chatbots en el ámbito educativo, pueden ayudar al proceso de personalización y enriquecimiento del entorno de aprendizaje (Liu *et al.*, 2020). Además, puede brindar apoyo a los estudiantes en los contenidos del curso, tareas, recursos de estudios, interacción individual o actividades colaborativas (Kuhail, *et al.*, 2023).

Robótica

La robótica educativa es definida por Mendoza-Hernández *et al.* (2020) como “un enfoque pedagógico que se convierte en una estrategia de enseñanza para diferentes áreas como lo son: las matemáticas, ciencias e informática; con ello, se genera un ambiente de aprendizaje donde el estudiante desempeña un papel fundamental” (p. 7). Las prácticas con robot en la educación pueden promover representaciones mentales de conceptos abstractos, puede aumentar la motivación, el trabajo en equipo y fomentar la persistencia cuando los estudiantes se enfrentan a escenarios complejos y desafiantes (Kopcha *et al.*, 2017).

Sobre la base de los conceptos ya mencionados, esta revisión sistemática de la literatura, en inteligencia artificial, en el ámbito de la educación matemática pretende mostrar el progreso de la investigación en esta temática en los últimos cinco años, para lo cual planteamos las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo se caracterizan los estudios de inteligencia artificial por país de realización de la investigación, año de publicación, tipo de investigación, uso de métodos de investigación y nivel educativo?

¿Cuáles son las aplicaciones o el rol de la inteligencia artificial en el ámbito de la educación matemática en los estudios analizados?



Metodología de la revisión sistemática de la literatura

Estrategias de búsquedas y procedimientos de selección de artículos

Para determinar el alcance de la investigación en inteligencia artificial en la educación matemática se realizó una revisión sistemática de la literatura, entendida como “una revisión de la investigación existente que utiliza métodos de investigación rigurosos, explícitos y responsables” (Gough *et al.*, 2012, p. 6). La revisión sistemática se efectuó siguiendo las directrices de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Page *et al.*, 2021). La búsqueda se realizó hasta el 20 de junio de 2023, en las bases de datos: Web of Science (WOS), Scopus y SciELO.

Los términos o palabras utilizados en la cadena o ecuación de búsqueda son consistentes con el tesoro de la UNESCO: Artificial intelligence, education and mathematics. Para realizar una mejor búsqueda se usaron los operadores booleanos y asterisco. A continuación, en la Tabla 1, se muestran las cadenas de búsquedas utilizadas para obtener los artículos.

La búsqueda se centró en artículos publicados en inglés y español, al 20 de junio de 2023, y que relacionan la inteligencia artificial con algún ámbito de la educación matemática tales como la enseñanza, el aprendizaje, la evaluación u otros tópicos. La búsqueda proporcionó 9144 estudios que abordan la IA en diferentes niveles escolares de la educación matemática, después de aplicar los criterios de inclusión/exclusión planteados en la Tabla 2, se obtuvieron 32 artículos.

Tabla 1. Cadenas de búsquedas utilizadas

Bases de datos	Términos de búsqueda
Scopus	TITLE-ABS-KEY (“artificial intelligence” OR “AI”) AND TITLE-ABS-KEY (education) AND TITLE-ABS-KEY (math*)
Wos	ALL= (“AI” OR “artificial intelligence”) AND (“education”) AND (math*)
SciELO	(“AI” OR “artificial intelligence”) AND (“education”) AND (math*)

Nota: Fuente propia de la investigación.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
I1: Estudios en todos los niveles escolares de educación matemático	E1: Estudio en una disciplina diferente a la matemática
I2: Estudios centrados en la inteligencia artificial en futuros profesores, estudiantes de educación escolar o educación terciaria, relacionada con la matemática	E2.1: Estudios que no se centren en la incorporación de la inteligencia artificial en la educación matemática
	E2.2: Estudios que mencionen la inteligencia, pero no se centren en ella
I3: Estudios publicados en inglés o español	E3: Estudios no publicados en inglés o español
I4: Artículos	E4: Actas de congresos, libros, artículos en prensa y capítulos de libros
I5: Artículos en etapa final de publicación	E5: Artículos en prensa
I6: Estudios indexados en las bases de datos Wos, Scopus y SciELO	E6: Estudios no indexados en ninguna de las bases de datos incluidas en el estudio
I7: Estudios realizados entre 2019-2023	E7: Estudios realizados antes de 2019

Nota: Fuente propia de la investigación.



El proceso de selección de los artículos se realizó mediante las etapas propuestas por [Page et al. \(2021\)](#): identificación, selección e inclusión. En la fase de identificación, se utilizaron las ecuaciones o cadenas de búsqueda expuestas en la Tabla 1, la búsqueda en 3 bases de datos arrojó 9144 artículos a través de la búsqueda de títulos, resumen y palabras claves. En la fase de selección inicial, utilizamos la función refinar de las bases de datos electrónicas para excluir 8958 artículos, los cuales estaban relacionados con el tipo de publicación: capítulo de libro, actas de congresos o libros; el idioma diferente al español o inglés; áreas temáticas diferentes a las ciencias sociales o investigación educativa; años anteriores al 2019. En la fase final de selección, revisamos el resumen de 173 artículos potencialmente relevantes para la revisión de este manuscrito. En la última etapa de inclusión, integramos 29 artículos en la revisión sistemática. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso de selección de los artículos.

Análisis de datos

Este análisis incluyó 29 artículos, inicialmente se realizó un análisis de contenido de los estudios elegibles, los cuales fueron revisados en profundidad. Posteriormente, se desarrolló un esquema de codificación que permitió relacionarlos con las preguntas de investigación, según las siguientes categorías:

- Indicadores bibliométricos de los estudios seleccionados

- Metodologías de investigación implementadas
- Rol de la inteligencia artificial en los estudios
- Conceptos que abordan los estudios relacionados con la educación matemática

Respecto a la codificación de las características bibliométricas y metodológicas de los estudios se siguieron las planteadas por [Cevikbas et al. \(2022\)](#). El análisis prosiguió con técnicas de análisis de contenido ([Cáceres, 2003](#)), centrándose en las categorías de análisis propuestas (deductivo). Para la primera pregunta de investigación se subcategorizaron las características bibliométricas y metodológicas acuñadas por cada investigación, utilizando las siguientes subcategorías: año de publicación, distribución geográfica, método

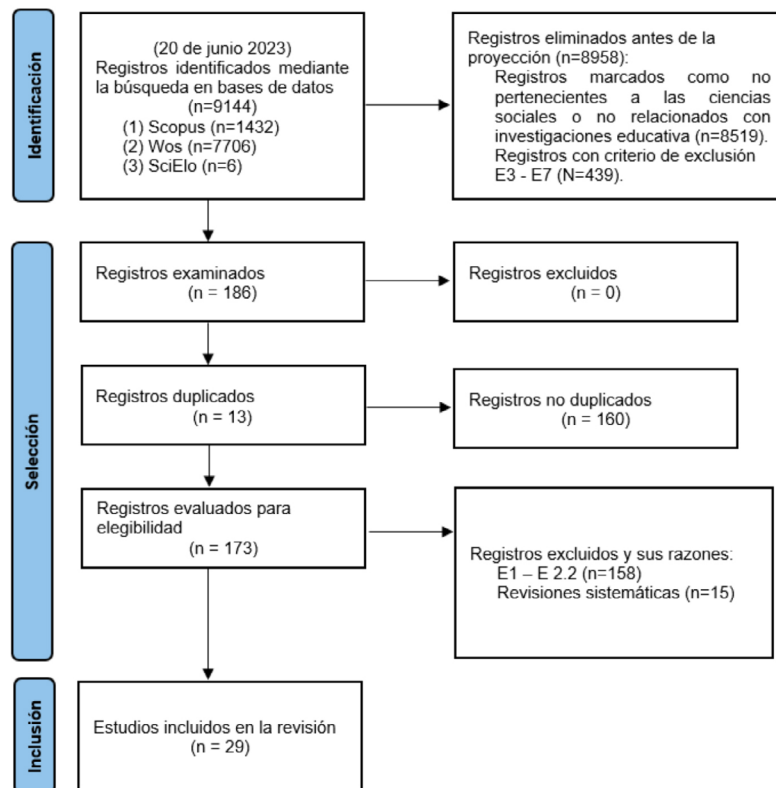


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de los artículos

Elaboración propia de la investigación.



de investigación, muestra/participantes, nivel de educación, tamaño de la muestra, métodos de recopilación de datos y rol de la IA.

Resultados de la revisión sistemática de la literatura sobre educación matemática e inteligencia artificial

Características de los estudios y metodologías de investigación de los artículos

Tipos de documentos y años de publicación

Los 29 artículos incluidos en los análisis se publicaron en 21 revistas científicas diferentes, 8 revistas de tecnología y educación, 4 revistas de educación matemática, 3 revistas de educación, 3 revistas interdisciplinarias, 2 revistas de educación a distancia y 1 revista de educación. Los artículos publicados en revistas de educación matemática representan el 14 % de los artículos analizados, mientras los artículos publicados en revistas de tecnología y educación corresponden al 25 %. Respecto a los años de publicación, en los últimos cinco años la producción de artículos científicos ha ido en aumento, se puede observar en la Gráfica 1 una tendencia al alza. El número de artículos publicados en el 2023 es poco, posiblemente porque aún no ha terminado el 2023, y un número de revistas es de entrega semestral.

Distribución geográfica

La distribución geográfica de los autores fue registrada mediante las filiaciones reportadas en los artículos. Se contabilizó el número de autores, encontrando que el 80 % de los artículos tienen entre 1 y 5 autores. En la Tabla 3, se muestra la distribución de

autores por 19 países, siendo Estados Unidos (30 %) y China (16,3 %) los países más frecuentes; sin embargo, por continente, la mayoría de los autores provienen de Europa y Asia, seguido de América y Asia.

Diseños de investigación y métodos de recolección de datos

Los artículos incluidos en los análisis se subdividen en 20 estudios empíricos,

Gráfica 1. Distribución del número de estudios publicados por año



Nota: Fuente propia de la investigación.

Tabla 3. Distribución geográfica de autores según su filiación

Países	Frecuencia	Porcentaje
Alemania	13	12,5
Canadá	3	2,9
China	17	16,3
Colombia	2	1,9
Corea del Sur	2	1,9
Emiratos Árabes	2	1,9
Fiji	2	1,9
Indonesia	3	2,9
Italia	5	4,8
Jordán	1	1,0
Kazakstán	7	6,7
Noruega	3	2,9
Omán	1	1,0
Portugal	4	3,8
Reino Unido	1	1,0
Rusia	1	1,0
Suecia	4	3,8
Taiwán	2	1,9
Estados Unidos	31	29,8
Total	104	100

Nota: Fuente propia de la investigación.

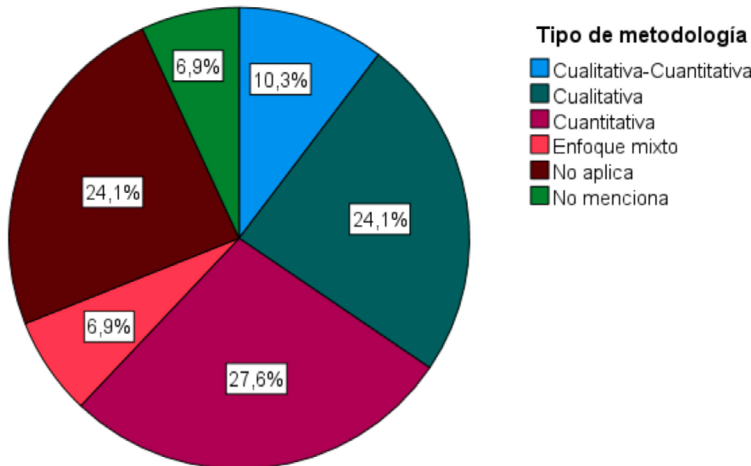


3 estudios teóricos y 6 estudios presentan la implementación de la IA en el ámbito de la educación, teniendo, como una orientación general, la exposición de usos exitosos al utilizar IA en entornos educativos. El análisis mostró que 27,6 % de los artículos utilizó métodos cuantitativos, el 24,1 % representa artículos de métodos cualitativos, y los artículos con metodología cualitativa y cuantitativa representan el 10,3 % del total (ver Gráfica 2), esto se relaciona con el hecho que 9 artículos presentan algunos programas *online* basados en inteligencia artificial, con aplicación a la educación matemática, sin ser

probados empíricamente. En algunos de los enfoques reportados en los artículos de tipo cualitativos y cuantitativos se encuentran estudios basados en el diseño, enfoque fenomenológico y etnográfico, estudios de caso y diseño experimental.

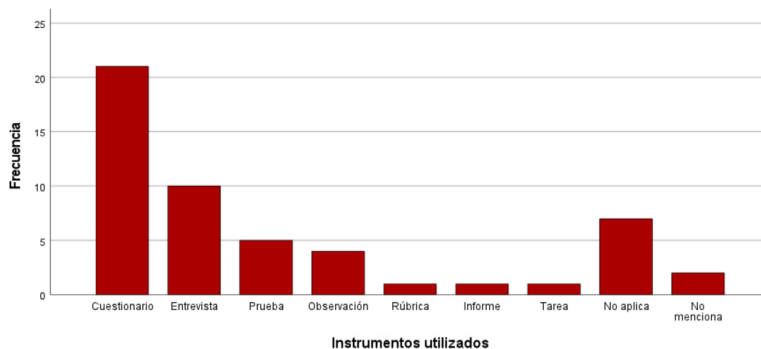
En los 29 artículos revisados se analizaron los métodos de recolección de los datos, se identificó la cantidad y el tipo de instrumentos utilizados en una misma investigación, utilizando un total de 43 instrumentos entre cuestionarios, entrevistas, pruebas y variados instrumentos de observación (Ver Gráfica 3). Se encontró que el instrumento más utilizado es el cuestionario (40,4 %) y la entrevista (19,2 %). Respecto a la cantidad de instrumentos por artículo, se encontró que en una investigación se utilizaron 4 instrumentos, siendo lo más frecuente que se utilicen 1 y 2 instrumentos de recolección de datos, con 47 % y 32 % (n= 20), respectivamente.

Gráfica 2. *Tipo de metodologías de investigación utilizada en los estudios*



Nota: Fuente propia de la investigación.

Gráfica 3. *Instrumentos de recolección de los datos utilizados en los estudios*



Nota: Fuente propia de la investigación.

Muestra, tamaños y niveles de educación de los participantes de los estudios

En los 29 estudios analizados, se analizó la muestra, su tamaño y el nivel educación de los participantes, categorizado según lo mencionado por los autores en cada artículo. El 24 % tienen una muestra menor a 50 participantes, el mismo porcentaje le corresponde a la muestra entre 101 y 200 participantes. Los estudios que no mencionan o no aplican (artículos



teóricos) representan el 20 % del total de los artículos revisados (ver Tabla 4).

Respecto al nivel escolar de los participantes del estudio, en la Gráfica 4 se observa que la mayoría hace referencia a estudiantes de primaria y secundaria, con 13,8 % y 34,5 % respectivamente. Solo un artículo consideró como participantes a los

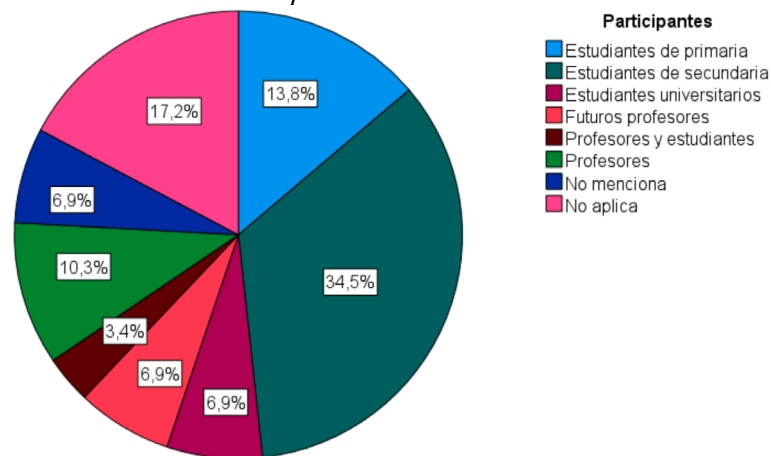
estudiantes y profesores. Respecto al estudio de los profesores como participantes es reportado en 3 artículos, mientras los futuros profesores son abordados en 2 artículos. Además, subcategorizamos el nivel de educación superior mediante estudiantes universitarios y los futuros profesores.

Tabla 4. Tamaño de la muestra utilizado en los estudios

Tamaño de la muestra	Frecuencia	Porcentaje
0-50	7	24,1
51-100	2	6,9
101-200	7	24,1
201-500	4	13,8
>500	3	10,3
No menciona	1	3,4
No aplica	5	17,2
Total	29	100,0

Nota: Fuente propia de la investigación.

Gráfica 4. Participantes de los estudios analizados



Nota: Fuente propia de la investigación.

Tabla 5. Conceptos de la inteligencia artificial encontrado en los artículos

Conceptos	Frecuencia	Porcentaje
Aprendizaje automático	6	20,7
Chatbot	2	6,9
Robótica	2	6,9
Sistemas de tutoría inteligente	14	48,3
No menciona	1	3,4
No aplica	1	3,4
Otro	3	10,3

Nota: Fuente propia de la investigación.

Análisis de los conceptos de la inteligencia artificial

Dado que los estudios vinculan algunos conceptos de la IA en los artículos, se analizó y categorizó, de forma inductiva, esta información, mediante el marco conceptual propuesto, priorizando la significatividad del recurso de IA en el análisis. Tales conceptos fueron: aprendizaje automático, aprendizaje adaptativo, chatbot, robótica y sistemas de tutoría inteligente. Los resultados muestran que la mayoría de los artículos hace referencia a sistemas de inteligencia artificial (48 %, n= 19), seguido de aprendizaje automático (20,7 %, n= 6). La descripción completa se encuentra en la Tabla 5.

Algunos resultados de los artículos de la revisión

En la Tabla 6 se presentan algunos resultados empíricos de los artículos revisados.



Tabla 6

Algunos resultados empíricos de los artículos revisados

Autores/año	Título	Algunos resultados
Kong et al. (2023)	Evaluating an artificial intelligence literacy programme for empowering and developing concepts, literacy and ethical awareness in senior secondary students	Los conocimientos de programación otorgan ventajas al curso de aprendizaje profundo, pero no a otros cursos, tales como proyectos de aplicación de la IA. Además, algunos principios éticos pueden ser demasiado complejos para ser comprendidos por estudiantes de secundaria superior.
Huang y Qiao (2022)	Enhancing Computational Thinking Skills Through Artificial Intelligence Education at a STEAM High School	La educación en IA con STEM es beneficiosa para promover la creatividad, la cooperación, el pensamiento crítico y la resolución de problemas de los estudiantes en las habilidades de pensamiento computacional. También, mejora la motivación de aprendizaje y la autoeficacia de los estudiantes del grupo experimental.
Lee y Yeo (2022)	Developing an AI-based chatbot for practicing responsive teaching in mathematics	Desarrollaron un chatbot con conocimiento de conceptos y operaciones entre fracciones. Muestran que este chat cubría, de manera razonable y adecuada, las preguntas de los futuros profesores y proporcionaba respuestas que parecían realistas.
Zhai et al. (2022)	Applying machine learning to automatically assess scientific models	Mediante evaluaciones que incorporan modelos dibujados y textuales, lograron una precisión de puntuación excelente, a través de aprendizaje automático. Asimismo, identificaron cinco características de los modelos dibujados que pueden afectar, significativamente, la precisión de la puntuación de la máquina.
Bekmanova et al. (2021)	Personalized training model for organizing blended and lifelong distance learning courses and its effectiveness in Higher Education	Los resultados de un curso a distancia, basado en aprendizaje personalizado, expresan que el curso cumple con sus expectativas y es novedoso. Además, encontraron que el 100 % de los estudiantes se certificaron con éxito en comparación con un curso presencial tradicional.
Shin (2022)	Teaching Mathematics Integrating Intelligent Tutoring Systems: Investigating Prospective Teachers' Concerns and TPACK	Los futuros profesores reconocen que tienen un sólido conocimiento pedagógico y conocimiento del contenido que necesitan para enseñar matemática. Pero cuando PK y PCK se integraron con el conocimiento tecnológico era menos probable que reconociera que tenían un conocimiento sólido para la enseñanza efectiva con tecnología.
Azevedo et al. (2022)	Mathematics learning and assessment using MathE platform: A case study	Al preguntar a los estudiantes ¿en qué medida la plataforma MathE es una ayuda valiosa para sus estudios? Encontraron que para el 40,6 % es útil, mientras que el 9,4 % dijo que no es útil y el 9,4 % piensa que la plataforma es de gran ayuda. Entre las principales dificultades experimentadas al usar la plataforma se encuentra la organización y el idioma.
Moltudal et al. (2022)	Adaptive Learning Technology in Primary Education: Implications for Professional Teacher Knowledge and Classroom Management	Los docentes describen la tecnología como prometedora, pero consideran que, para usarla plenamente, sus alumnos deben dedicar más tiempo a resolver tareas en el programa que el que los docentes están dispuestos a ofrecer.



Autores/año	Título	Algunos resultados
Zhou (2023)	Integration of modern technologies in higher education on the example of artificial intelligence use	Existe una diferencia significativa en el desempeño de los estudiantes en cinco asignaturas antes y después de la introducción de la plataforma de aprendizaje personalizado Raptivity.
Wang <i>et al.</i> (2023)	When adaptive learning is effective learning: comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction	Los estudiantes que usaron Acquirrel AI learning superaron, de forma independiente, a los estudiantes que están inscritos en un curso que impartían profesores expertos. Igualmente, superaron a los estudiantes que recibieron instrucción, tanto en clase completa, como en grupos pequeños.
Sperling <i>et al.</i> (2022)	Still w(AI)ting for the automation of teaching: An exploration of machine learning in Swedish primary education using Actor-Network Theory	El estudio muestra que las tecnologías de IA diseñadas para personalizar y automatizar requieren una adaptación mutua de actores humanos y no humanos en la red.
Wang <i>et al.</i> (2022)	Development and Application of an Intelligent Assessment System for Mathematics Learning Strategy among High School StudentsTake Jianzha County as an Example	Encontraron que los sistemas de evaluación e implementación son eficaces para proporcionar, a los profesores, técnicas para ayudar a evaluar y mejorar las estrategias de aprendizaje de las matemáticas.
Shin <i>et al.</i> (2021)	Analyzing students' performance in computerized formative assessments to optimize teachers' test administration decisions using deep learning frameworks	El modelo creado permite predecir si la próxima prueba será significativa en función de las puntuaciones de rendimiento de dos pruebas anteriores con una presión alta.
Ferro <i>et al.</i> (2021)	Gea2: A Serious Game for Technology-Enhanced Learning in STEM	Encontraron que la eficacia del juego, como herramienta de aprendizaje, no arrojó buenos resultados generales, ya que se esperaba que el juego mejorara la comprensión de los temas explicados en clase, pero terminó siendo un reemplazo de las conferencias presenciales.
Hsu <i>et al.</i> (2021)	Is it possible for young students to learn the Ai-STEAM application with experiential learning?	Mostraron que el uso de aprendizaje experiencial integrado en un curso de AI-STEM mejora la efectividad del aprendizaje.
Robles y Quintero (2020)	Intelligent system for interactive teaching through videogames	Para cada videojuego se muestra que la implementación del sistema inteligente, con dos técnicas computacionales implementadas, permite al usuario obtener un mejor rendimiento en los temas abordados.
Yannier <i>et al.</i> (2020)	Active Learning is About More Than Hands-On: A Mixed-Reality AI System to Support STEM Education	La indagación guiada por un agente IA ayudó a los estudiantes a formular mejores teorías y más científicas de los fenómenos que experimentan; además, los niños que reciben orientación durante la indagación pueden aprender a aplicar mejor la ciencia en tareas de ingeniería.
Büscher (2020)	Scaling up qualitative mathematics education research through artificial intelligence methods	Reportan que el modelo funcionó con un 76 % de precisión en el conjunto de prueba, lo que significa que etiquetó 76 % de los datos de la misma manera que lo hubiera hecho un equipo de investigación.



Autores/año	Título	Algunos resultados
Cung et al. (2019)	Getting Academically Underprepared Students Ready through College Developmental Education: Does the Course Delivery Format Matter?	Cuando se usa un sistema de tutoría inteligente bien desarrollado, las ganancias de aprendizaje son aún más significativas si se combinan con conferencias en persona.
So y Lee (2023)	Pedagogical exploration and technological development of a humanoid robotic system for teaching to and learning in young children	Encontraron que el Robot NAO puede construir una relación positiva y amistosa con los niños, mientras logran resultados de aprendizaje de matemáticas.
Denes (2023)	A case study of using AI for General Certificate of Secondary Education (GCSE) grade prediction in a selective independent school in England	Mostraron que las predicciones son más precisas para las asignaturas STEM y las que tienen más estudiantes. Además, encontraron que los profesores de STEM y no STEM tienen una percepción diferente al otorgar las calificaciones.
Soesanto et al. (2022)	Indonesian students' perceptions towards AI-based learning in mathematics	Algunas de las percepciones de los estudiantes son: ven a los robots de IA como máquinas inteligentes que pueden detectar algo, entienden que la IA es como un robot creado para hacer algo y la IA se ve como una simulación de inteligencia modelada en una máquina.
Yang et al. (2021)	Can Crowds Customize Instructional Materials with Minimal Expert Guidance? Exploring Teacher-guided Crowdsourcing for Improving Hints in an AI-based Tutor	En uno de los estudios realizados (2), reportan que los profesores perciben las sugerencias escritas por ellos mismos como mejores y más satisfactorias que las sugerencias existentes del tutor IA, pero, que no percibían las sugerencias personalizadas, producidas por la multitud, como una mejora de las sugerencias originales.
Walkington y Bernacki (2019)	Personalizing Algebra to Students' Individual Interests in an Intelligent Tutoring System: Moderators of Impact	La personalización más profunda tendió a provocar una menor eficiencia, pero estados afectivos más positivos, mientras que, el interés situacional y el juego no se vieron afectados. Además, los estudiantes que se comprometieron más profundamente con sus intereses fueron más fuertes en las medidas de eficiencia.
Wardat et al. (2023)	ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics	Encontraron que ChatGPT es una herramienta útil, pero que se necesita precaución al usarla y se deben desarrollar pautas para su uso seguro.

Discusión

Dado los resultados expuestos muestran que prácticamente no existen trabajos que provengan de Latinoamérica que estén centrados en la IA y la educación. Esto promueve una invitación a desarrollar este tipo de temas, situando temáticas vinculantes a la enseñanza y el aprendizaje en distintos entornos educativos, ya que, dada la poca cantidad de trabajos identificados, los esfuerzos

investigativos deben ser implementados en todos los niveles educativos. Respecto a los métodos utilizados, si bien no se aprecia un gran desbalance en lo realizado, se destacan insuficientes trabajos que desarrollen investigaciones con métodos mixtos y con una alta cantidad de personas participantes. Es de mucha relevancia realizar mayores avances en esta área, ya que la implementación de la IA ya está masificada en la vida cotidiana, siendo utilizada como soporte para



colaborar en problemas matemáticos, al alcance de la mano del estudiante.

Por otro lado, los resultados identificados consideran, en su gran mayoría, la inclusión de la IA para el fortalecimiento del aprendizaje, principalmente vía trabajo autónomo. Los artículos logran identificar alcances exploratorios-descriptivos frente a su implementación, ya sea por la inclusión de este tipo de tecnología en sus procesos de enseñanza (p. e. chatbot en formación inicial docente), como también, al identificar qué conocimientos pueden propiciar el mejor uso de la tecnología, como son los conocimientos previos de programación en niveles intermedios reportado en [Kong et al. \(2023\)](#). Esto, también invita a profundizar en la complejidad que significa incluir adecuadamente a la IA en los procesos educativos, de manera que no basta con la creación y un correcto funcionamiento, sino, también, se requiere que haya una correcta inclusión, tanto en la práctica pedagógica, como en la adecuación paulatina con los estudiantes ([Sperling et al., 2022](#)).

En la presente revisión se destacan trabajos en donde se vincula, de manera directa, la IA con los procesos evaluativos. Pareciera que los resultados muestran un mayor grado de efectividad, en donde la IA utiliza un interesante espacio en los procesos de retroalimentación. Sin embargo, variados estudios revisados muestran que es importante el permanente monitoreo de las herramientas tecnológicas a utilizar, para que las respuestas que elabora puedan tener un mayor grado de cercanía con los estudiantes, refiriéndose desde aspectos idiomáticos hasta desarrollar una tipología de respuestas que sea concordante con las prácticas que son hechas de forma presencial. En este sentido, es de mucha importancia que cuando las actividades educativas se

trabajan en paralelo, —es decir, que exista un trabajo con un profesor y un trabajo con un sistema de IA—, pueda poseer una sincronía que no solo permitan hablar de estos y que los procesos de retroalimentación sean concordantes con el trabajo presencial, sino que se pueda identificar una valoración más allá de cada trabajo por sí solo. Al respecto, se propone como una proyección de desarrollo investigativo, que si bien algunos estudios son orientados hacia una valoración sinérgica, los resultados se presentan incipientes desde el área de la evaluación.

Conclusiones

En este estudio se analizó sistemáticamente la investigación actual sobre la IA en la educación matemática en 29 artículos. Nuestra orientación principal fue estudiar algunas características de estos estudios, tecnologías de la IA utilizadas y su vinculación con teorías o perspectivas teóricas para la IA en la educación matemática.

Con respecto a la primera pregunta de investigación, los estudios analizados muestran que la IA vinculada a la educación matemática se encuentra en aumento, siendo el año 2022 muy notorio, vislumbrando la misma tendencia para el año 2023. Además, la gran mayoría de material revisado era de tipo empírico y unos pocos teóricos. Los artículos publicados en revista con tradición de educación matemática constituyeron menos del 20 % de los artículos analizados. La mayoría de estos provienen de Estados Unidos y China, además, el continente con mayores números de países abordando la IA en la educación matemática provienen de Asia y un reducido número de autores de Latinoamérica.

Los estudios analizados muestran, principalmente, el uso de métodos cuantitativos (26 %) y cualitativos (24,14 %),



siendo pocos e insuficientes estudios mixtos (6,90 %) para el desarrollo investigativo del área. Además, aproximadamente un tercio de las investigaciones son centradas en los estudiantes de secundaria como sujetos de estudio, seguido de los estudiantes de primaria y los profesores, son pocas las que analizan a los estudiantes universitarios, en particular, a los futuros profesores. De acuerdo con los resultados, la mayoría de los estudios se realizan en secundaria y primaria; sin embargo, no se encontró ningún estudio que investigará participantes de educación infantil.

Las estrategias utilizadas para recolectar los datos de las intervenciones realizadas mediante la IA utilizaron mayormente cuestionarios, entrevistas y pruebas. De manera aproximada, la mitad de estos estudios utilizaron, al menos, dos instrumentos para obtener sus datos. No obstante, son pocas las investigaciones donde se aborda la IA desde una teoría o enfoque teórico de la didáctica de la matemática ($n=6$).

Con respecto al rol de la IA en el ámbito de la educación matemática, los resultados indican que es más utilizada como un entorno de aprendizaje computarizado; es decir, sistemas de aprendizaje inteligente, para la evaluación, la eficacia del aprendizaje, la educación a distancia, el aprendizaje y la enseñanza. Este resultado invita a continuar el trabajo ya iniciado en esas áreas de investigación, o bien, identificar nuevas áreas a explorar, a partir de las mencionadas.

Las limitaciones del presente estudio son condicionadas a partir de las bases de datos seleccionadas para realizarlo, la exclusión de actas de congresos, capítulos de libros, libros, entre otros, revistas no incluidas en las bases de datos de Scopus, Wos y Scielo. Además, la exclusión de idiomas escritos diferentes al inglés y al español limita

los alcances de los resultados. Otra limitación podría estar relacionada al proceso de exclusión automatizada realizada en cada base de datos y a las cadenas de búsquedas utilizadas. En esta revisión se usó las palabras: artificial intelligence, education y math, siendo que se identificaron estudios que no utilizan la palabra artificial intelligence, sino directamente la tecnología de la IA empleada en la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

Declaración de la contribución de los autores

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

Declaración de disponibilidad de los datos

Los datos que respaldan los resultados de este estudio serán puestos a disposición por el autor correspondiente [DP], previa solicitud razonable.

El porcentaje total de contribución para la conceptualización, preparación y corrección de este artículo fue el siguiente: D.P.G 70 % y J.H.A. 30 %

Preprint

Una versión Preprint de este artículo fue depositada en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8277888>



Referencias

- Abeliuk, A., & Gutiérrez, C. (2021). Historia y evolución de la inteligencia artificial. *Revista Bits de Ciencia* (21), 14-21. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/view/2767/2700>
- 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>
- Azevedo, B. F., Pereira, A., & Fernández, F. (2022). Mathematics learning and assessment using MathE platform: A case study. *Educational and Information Technologies*, 22, 1747-1769. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10669-y>
- Bakker, A., Cai, J., & Zenger, L. (2021). Future themes of mathematics education research: an international survey before and during the pandemic. *Educational Studies in Mathematics*, 107, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10049-w>
- Bekmanova, G., Ongarbayev, Y., Somzhurek, B., & Makatayev, N. (2021). Personalized training model for organizing blended and lifelong distance learning courses and its effectiveness in Higher Education. *Journal of Computing in Higher Education*, 33, 668-683. <https://doi.org/10.1007/s12528-021-09282-2>
- Büscher, C. (2020). Scaling up qualitative mathematics education research through Artificial Intelligence methods. *For the learning of mathematics*, 40(2), 1-9.
- Cáceres, P. (2003). Análisis cualitativo de contenido: una alternativa metodológica alcanzable. *Psicoperspectivas*, 2(1), 53-82. <https://dx.doi.org/10.5027/psicoperspectivas-Vol2-Issue1-fulltext-3>
- Cevikbas, M., Kaiser, G., & Schukajlow, S. (2022). A systematic literature review of the current discussion on mathematical modelling competencies: state of the art developments in conceptualizing, measuring, and fostering. *Educational Studies in Mathematics*, 109, 205-236. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10104-6>
- Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G.-J. (2020). Application and theory gaps during the rise of Artificial Intelligence in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002>
- Cung, B., Eichhorn, S., & Warschauer, M. (2019). Getting Academically Underprepared Students Ready through College Developmental Education: Does the Course Delivery Format Matter?. *American Journal of Distance Education* 33(3), 178-194. <https://doi.org/10.1080/08923647.2019.1582404>
- Denes, G. (2023). A case study of using AI for General Certificate of Secondary Education (GCSE) grade prediction in a selective independent school in England. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100129>
- 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>
- Ferro, L., Sapio, F., Mecella, M., Temperini, M., & Terracina, A. (2021). Gea2: A Serious Game for Technology-Enhanced Learning in STEM. *IEEE transactions on learning technologies*, 20(10), 1-17. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3143519>
- Følstad, A., Araujo, T., Law, E., Brandtzaeg, P., Papadopoulos, S., Reis, L., . . . Luger, E. (2021). Future directions for chatbot research: an interdisciplinary research agenda. *Computing*, 103, 2915-2942. <https://doi.org/10.1007/s00607-021-01016-7>
- Gough, D., Oliver, S., & Thomas, J. (2012). *An introduction to Systematic Reviews*. California SAGE.
- Hsu, T.-C., Abelson, H., Lao, N., & Chen, S.-C. (2021). Is It Possible for Young Students to Learn the AI-STEAM Application with Experiential Learning?. *Sustainability*, 13(19), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su131911114>
- Huang, X., & Qiao, C. (2022). Enhancing Computational Thinking Skills Through Artificial Intelligence Education at a STEAM High School. *Science & Education*, 1-21. <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>



- Jara, I., & Ochoa, J. M. (2020). *Uso y efectos de la inteligencia artificial en educación*. Washington, D.C: Banco Interamericano de desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0002380>
- 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>
- Kopcha, T., McGregor, J., Shin, S., Qian, Y., Choi, J., Hill, R., . . . Choi, I. (2017). Developing an Integrative STEM Curriculum for Robotics Education Through Educational Design Research. *Journal of Formative Design Learning*, 1, 31-44. <https://doi.org/10.1007/s41686-017-0005-1>
- Kuhail, M. A., Alturki, N., Alamlai, S., & Alhejori, K. (2023). Interacting with educational chatbots: A systematic review. *Education and Information Technologies*, 28, 973-1018. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11177-3>
- Lee, D., & Yeo, S. (2022). Developing an AI-based chatbot for practicing responsive teaching in mathematics. *Computers & Education*, 191, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104646>
- Lippert, A., Shubeck, K., Morgan, B., Hampton, A., & Graesser, A. (2020). Multiple Agent Designs in Conversational Intelligent Tutoring Systems. *Technology, Knowledge and Learning*, 25, 443-463. <https://doi.org/10.1007/s10758-019-09431-8>
- Liu, Q., Huang, J., Wu, L., & Ba, S. (2020). CBET: design and evaluation of a domain-specific chatbot for mobile learning. *Universal Access in the Information Society*, 19, 655-673. <https://doi.org/10.1007/s10209-019-00666-x>
- Mendoza-Hernández, L. E., Alarcón-Acosta, H., & Monroy-González, L. (2020). La robótica como recurso educativo para desarrollar las competencias del alumnado en el siglo XXI. *UNO Sapiens Boletín Científico de la Escuela Preparatoria N.º 1*, 3(2), 5-11. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/article/view/6075>
- Mohamed, Z. B., Hidayat, R., Suhaizi, N. N., Sabri, N. B., Mahmud, M. K., & Baharuddin, S. N. (2022). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic literature review. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(3), 1-11. <https://doi.org/10.29333/iejme/12132>
- Moltudal, S. H., Krumsvik, R. J., & Høydal, K. L. (2022). Adaptive Learning Technology in Primary Education: Implications for Professional Teacher Knowledge and Classroom Management. *Frontiers Education*, 7, 1-18. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.830536>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffman, T. C., Mulrow, C. D., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372(71), 1-9. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Robles, D., & Quintero, C. (2020). Intelligent System for Interactive Teaching through Videogames. *Sustainability*, 12(9), 1-14. <https://doi.org/10.3390/su12093573>
- Sharma, P., & Harkishan, M. (2022). Designing an intelligent tutoring system for computer programming in the Pacific. *Education and Information Technologies*, 27, 6197-6209. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10882-9>
- 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 to optimize teachers' test administration decisions using deep learning frameworks. *Journal of computer in education*, 9, 71-91. <https://doi.org/10.1007/s40692-021-00196-7>
- So, S., & Lee, N. (2023). Pedagogical exploration and technological development of a humanoid robotic system for teaching to and learning in young children. *Cogent Education*, 10(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2179181>
- Soesanto, R. H., Dirgantoro, K. P., & Priyanti, N. (2022). Indonesian students' perceptions towards AI-based learning in mathematics learning in mathematics. *Journal on Mathematics Education*, 13(3), 531-548. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i3.pp531-548>
- Sperling, K., Stenliden, L., Nissen, J., & Heintz, F. (2022). Still w(AI)ting for the automation of teaching: An exploration of machine learning in Swedish primary education using



- Actor-Network. *European Journal of Education*, 57, 584-600. <https://doi.org/10.1111/ejed.12526>
- UNESCO. (2019). *Consenso de Beijing sobre inteligencia artificial y la educación*. Beijing: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>
- Walkington, C., & Bernacki, M. L. (2019). Personalizing Algebra to Students' Individual Interests in an Intelligent Tutoring System: Moderators of Impact. *International Artificial Intelligence in Education*, 29, 58-88. <https://doi.org/10.1007/s40593-018-0168-1>
- Wang, G., Chen, X., Zhang, D., Kang, Y., Wang, F., & Su, M. (2022). Development and Application of an Intelligent Assessment System for Mathematics Learning Strategy among High School Students-Take Jianzha County as an Example. *Sustainability*, 14(19), 1-36. <https://doi.org/10.3390/su141912265>
- Wang, S., Christensen, C., Cui, W., Tong, R., Yarnall, L., Shear, L., & Feng, M. (2023). When adaptive learning is effective learning: comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction. *Interactive learning environment*, 32(2), 793-803. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1808794>
- Wardat, Y., Tashtoush, M., Alali, R., & Jarrah, A. M. (2023). ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(7), 1-18. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13272>
- Webb, M., Fluck, A., Magenheimer, J., Malyn-smith, J., Waters, J., Deschênes, M., & Zagami, J. (2021). Machine learning for human learners: opportunities, issues, tensions and threats. *Education Tech Research Dev*, 69, 2109-2130. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09858-2>
- 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>
- Yannier, N., Hudson, S. E., & koedinger, K. R. (2020). Active Learning is About More Than Hands-On: A Mixed-Reality AI System to Support STEM Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30, 74-96. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00194-3>
- 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, 1-11. <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>



Inteligencia Artificial en educación matemática: Una revisión sistemática (Darlís Panqueban • Jaime Huincahue) Uniciencia is protected by Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-NC-ND 3.0)