



Sistemas inteligentes de aprendizaje adaptativo en educación básica y media: revisión sistemática comparativa por regiones geográficas (2014-2024)

Autor

Edison Marino Cerón Salazar

Título por el que opta

Magister en Educación

Director

Diana Carolina Burbano González

CIEDUS

Grupo Ciencias de la Educación, Educación Superior y Conceptos

Innovación, tecnología y didáctica

Facultad de Educación

Maestría en Educación - Virtual

Universidad Santiago de Cali

Santiago de Cali - Colombia

2026

Declaración de divulgación

Los autores de este artículo declaran que no existe ningún conflicto de interés personal o institucional que pudiera haber influido en los resultados obtenidos o en la elaboración de la obra científica. Asimismo, no se han presentado conflictos durante la revisión o el proceso de publicación, tales como relaciones personales o laborales con revisores, editores o instituciones involucradas, ni existe ninguna relación cercana con fuentes financiadoras que pudiera comprometer la imparcialidad del trabajo.

Financiamiento

La elaboración de este artículo no contó con financiamiento externo ni apoyo financiero de ninguna institución o entidad. Todos los recursos necesarios para el desarrollo de la investigación fueron aportados de manera independiente por los autores.

Sobre el autor

Edison Marino Cerón Salazar, estudiante de Maestría en Educación Virtual en la Universidad Santiago de Cali, está interesado en temas como la integración de tecnologías inteligentes en educación básica y media. Además, su investigación aborda la implementación de Sistemas Inteligentes de Aprendizaje como estrategia pedagógica que promueve la personalización educativa de manera efectiva, optimizando los resultados académicos de los estudiantes.

**Sistemas inteligentes de aprendizaje adaptativo en educación básica y media:
revisión sistemática comparativa por regiones geográficas (2014-2024)**

**Adaptive intelligent learning systems in primary and secondary education: a systematic
comparative review across geographical regions (2014-2024)**

Edison Marino Cerón Salazar¹

Diana Carolina Burbano²

Resumen

Los Sistemas Inteligentes de Aprendizaje (SIA) han emergido como tecnologías educativas transformadoras que utilizan algoritmos de inteligencia artificial para personalizar experiencias de aprendizaje en educación básica y media, con potencial para reestructurar paradigmas tradicionales de enseñanza-aprendizaje (Guo et al., 2021). A pesar de su creciente adopción, particularmente acelerada por la pandemia COVID-19 según Holmes et al. (2022), existe fragmentación en la literatura científica sobre su efectividad e implementación práctica, problemática identificada por Son (2024) y Steenbergen-Hu y Cooper (2014). **Objetivo:**

Analizar sistemáticamente la literatura científica sobre Sistemas Inteligentes de Aprendizaje en educación básica y media (2014-2024) para determinar su efectividad académica, identificar patrones regionales de implementación, y categorizar las herramientas tecnológicas utilizadas.

Metodología: Se realizó una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021), con búsqueda en Scopus y Web of Science. La calidad metodológica se evaluó mediante la metodología del Joanna Briggs Institute. **Resultados:** De 3,691 artículos identificados, 72 cumplieron los criterios de inclusión. Se observó crecimiento exponencial post-

2020 (72% de publicaciones en 2020-2024), confirmando el efecto catalizador documentado por Holmes et al. (2022). Europa lideró la producción científica (36.1%), seguida por América Latina y América del Norte (20.8% cada una). Los Sistemas de Tutoría Inteligente constituyeron la categoría predominante (46%), validando las predicciones de VanLehn (2023). La tasa global de efectividad alcanzó 89%, superando estimaciones previas de Steenbergen-Hu y Cooper (2014), con variaciones disciplinares: aprendizaje de idiomas y competencias STEM (100%), matemáticas (92%), confirmando hallazgos de Huang et al. (2016) sobre la afinidad entre estructuras de conocimiento formalizadas y modelización algorítmica. **Discusión:** El crecimiento exponencial confirma el efecto catalizador de COVID-19 identificado por Guo et al. (2021). La alta efectividad sugiere mejoras en diseño e implementación, donde el diseño pedagógico emerge como factor fundamental según VanLehn (2023). **Conclusiones:** Los SIA han alcanzado madurez tecnológica que justifica su integración sistemática, como argumentan Holmes y Tuomi (2022), especialmente en matemáticas, idiomas y competencias STEM, requiriendo integración con principios pedagógicos sólidos y formación docente especializada (Barrera Castro et al., 2024).

Palabras clave: Sistemas Inteligentes de Aprendizaje, Tecnología Educativa, Aprendizaje Adaptativo, Sistemas de Tutoría Inteligente, Educación STEM.

Abstract

Intelligent Learning Systems (ILS) have emerged as transformative educational technologies that utilize artificial intelligence algorithms to personalize learning experiences in primary and secondary education, with potential to restructure traditional teaching-learning paradigms (Guo et al., 2021). Despite their growing adoption, particularly accelerated by the COVID-19 pandemic according to Holmes et al. (2022), there exists fragmentation in the

scientific literature regarding their effectiveness and practical implementation, a problem identified by Son (2024) and Steenbergen-Hu and Cooper (2014). **Objective:** Systematically analyze the scientific literature on Intelligent Learning Systems in primary and secondary education (2014-2024) to determine their academic effectiveness, identify regional implementation patterns, and categorize the technological tools used. **Methodology:** A systematic review was conducted following the PRISMA 2020 protocol (Page et al., 2021), with searches in Scopus and Web of Science. Methodological quality was assessed using the Joanna Briggs Institute methodology. **Results:** From 3,691 identified articles, 72 met the inclusion criteria. Exponential growth was observed post-2020 (72% of publications in 2020-2024), confirming the catalyzing effect documented by Holmes et al. (2022). Europe led scientific production (36.1%), followed by Latin America and North America (20.8% each). Intelligent Tutoring Systems constituted the predominant category (46%), validating VanLehn's (2023) predictions. The overall effectiveness rate reached 89%, exceeding previous estimates by Steenbergen-Hu and Cooper (2014), with disciplinary variations: language learning and STEM competencies (100%), mathematics (92%), confirming Huang et al.'s (2016) findings on the affinity between formalized knowledge structures and algorithmic modeling. **Discussion:** The exponential growth confirms the catalyzing effect of COVID-19 identified by Guo et al. (2021). The high effectiveness suggests improvements in design and implementation, where pedagogical design emerges as a fundamental factor according to VanLehn (2023). **Conclusions:** ILS have reached technological maturity that justifies their systematic integration, as argued by Holmes and Tuomi (2022), especially in mathematics, languages, and STEM competencies, requiring integration with solid pedagogical principles and specialized teacher training (Barrera Castro et al., 2024).

Keywords: Intelligent Learning Systems, Educational Technology, Adaptive Learning, Intelligent Tutoring Systems, STEM Education

1. Introducción

Los Sistemas Inteligentes de Aprendizaje (SIA) representan tecnologías educativas que utilizan algoritmos de inteligencia artificial para adaptar contenidos, retroalimentación o estrategias pedagógicas según necesidades individuales de los estudiantes. Estas plataformas transforman significativamente los espacios de aprendizaje, configurándose como fenómeno pedagógico con potencial para reestructurar paradigmas tradicionales de enseñanza-aprendizaje (Guo et al., 2021).

Los SIA evolucionaron desde los primeros sistemas de instrucción asistida por computadora (década de 1960) hasta los actuales que incorporan aprendizaje automático, procesamiento de lenguaje natural y análisis predictivo (VanLehn, 2023). Se basan en principios pedagógicos como el aprendizaje individualizado, la retroalimentación formativa, el andamiaje cognitivo y la autorregulación. Incorporan enfoques teóricos del constructivismo, algorítmicos (Martin et al., 2024) y de dependencia tecnológica que tienen el potencial de disminuir interacciones humanas significativas (Rizvi et al., 2023).

A pesar de su potencial los SIA presentan desafíos importantes: privacidad y protección de datos estudiantiles (UNESCO, 2023) riesgo de ampliar brechas digitales (Lee & Kwon, 2024), sesgos algorítmicos (Martin et al., 2024) y dependencia tecnológica que puede reducir interacciones humanas significativas (Rizvi et al., 2023).

Problemática e Importancia

La bibliografía científica acerca de la implementación práctica de SIA en las fases educativas iniciales e intermedias sigue estando dispersa, lo que complica una comprensión completa de su efecto (Guo et al., 2021). Steenbergen-Hu y Cooper (2014) y Son (2024) sostienen que para comprender los hallazgos dispersos es necesario realizar revisiones sistemáticas. Esta fragmentación no solo significa una falta teórica, sino también un impedimento pragmático para que las instituciones y los organismos encargados de políticas educativas tomen decisiones fundamentadas.

Preguntas de Investigación e Hipótesis

Preguntas:

¿Qué nivel de efectividad académica reportan las investigaciones sobre la implementación de SIA en educación básica y media?

¿Cuáles son las categorías de herramientas y plataformas de SIA más frecuentemente implementadas en educación básica y media a nivel global?

¿Qué patrones de implementación y diferencias en efectividad académica se identifican en el uso de SIA entre diferentes regiones geográficas?

Hipótesis:

H1: Los SIA mejoran significativamente los resultados académicos en estudiantes de educación básica y media.

H2: Existen diferencias significativas en implementación y efectividad de los SIA según región (América del Norte, América Latina, Europa, Asia, Medio Oriente y África).

Este estudio está enfocado en los sistemas inteligentes de aprendizaje en la educación básica y media, enfocándose en las asignaturas del currículo fundamental, esta revisión se hizo con los artículos publicados entre el 2014 y el 2024, se analizó como se implementaron los SIA, en las diferentes clases y que herramientas tecnológicas de SIA utilizaron

2. Método

2.1 Diseño del Estudio

Esta investigación adoptó un diseño de revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021), que proporciona directrices estructuradas para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar evidencia científica relevante.

2.2 Criterios de Elegibilidad

Inclusión: se tuvieron en cuenta solo lo articulo publicados entre enero 2014 y marzo 2024; artículos revisados en revistas indexadas Scopus/Web of Science; estudios que implementaron sistemas inteligentes de aprendizaje en educación básica y media; publicaciones en inglés y en español; estudios con resultados prácticos, investigaciones con herramientas tecnológicas específicas basadas en sistemas inteligentes.

Exclusión: se excluyen los estudios solamente teóricos que no fueron prácticos, los que se implementaron en educación superior y educación para adultos, se excluyeron los estudios donde no se describiera la metodología de su aplicación, las páginas web, conferencias, resúmenes, publicaciones sin herramientas tecnológicas de sistemas inteligentes de aprendizajes

Evaluación de calidad: descripción clara de herramienta SIA; tamaño de muestra adecuado; métodos de recolección apropiados; análisis riguroso; reconocimiento de limitaciones; alineación entre objetivos, metodología y conclusiones.

2.3 Fuentes y Estrategia de Búsqueda

Se realizó búsqueda sistemática en Scopus y Web of Science usando combinaciones de términos:

TITLE-ABS-KEY ("intelligent learning system*" OR "intelligent tutor* system*"

OR "adaptive learning system*" OR "AI-based learning" OR "artificial intelligence in education") AND TITLE-ABS-KEY ("primary education" OR "elementary education" OR "K-12" OR "secondary education" OR "middle school" OR "high school" OR

"basic education") AND PUBYEAR >2014 AND PUBYEAR <2024

2.4 Proceso de Selección

El proceso siguió 4 pasos PRISMA:

Identificación: 3,691 artículos potencialmente relevantes

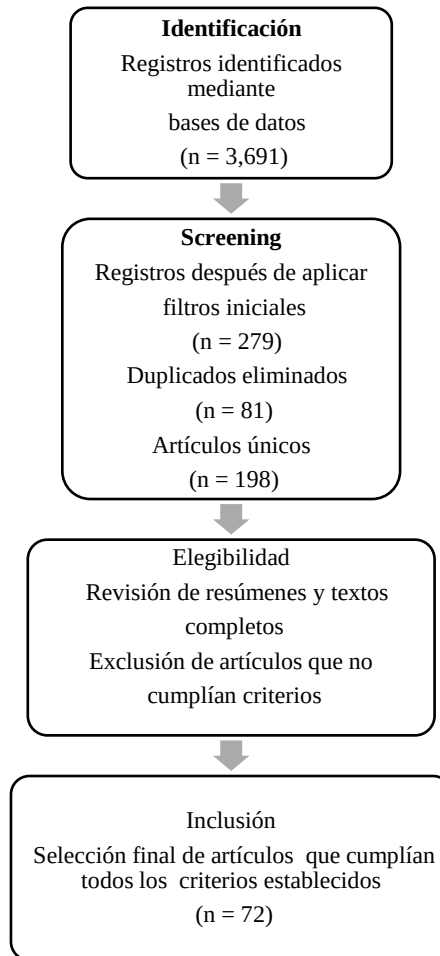
Screening: 279 artículos tras filtros iniciales; eliminación de 81 duplicados = 198 únicos

Elegibilidad: Revisión de resúmenes y textos completos

Inclusión: 72 artículos finales

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios siguiendo la guía PRISMA



Nota. Adaptado de Page et al. (2021), bajo la licencia Creative Commons CC BY 4.0.

2.5 Extracción de Datos y Evaluación de Calidad Metodológica

Se desarrolló formulario estandarizado para extracción sistemática. La calidad metodológica se evaluó con metodología Joanna Briggs Institute (JBI). Cada estudio fue calificado como bajo riesgo (94.44%), riesgo moderado (5.56%), o alto riesgo (0%).

Matriz de Extracción de Datos

Se desarrolló un formulario estandarizado de extracción de datos que incluía:

- Características del estudio (autor, año, país, diseño metodológico)
- Características de la intervención (tipo de SIA, duración, área curricular)
- Características de los participantes (nivel educativo, tamaño muestral, contexto)
- Resultados académicos reportados (métricas de efectividad, tamaños de efecto)
- Factores de implementación identificados

Evaluación de Calidad Metodológica mediante JBI

La calidad metodológica se evaluó sistemáticamente mediante los criterios del Joanna Briggs Institute (JBI) para estudios cuasi-experimentales y experimentales. Cada estudio fue evaluado en siete criterios fundamentales, asignando calificaciones de "Cumple totalmente", "Cumple parcialmente" o "No cumple".

La Tabla 1 presenta la distribución de estudios según el nivel de cumplimiento en cada criterio JBI.

Tabla 1. Matriz de Evaluación de Calidad Metodológica (JBI)

Criterio JBI	Cumple Totalmente	Cumple Parcial	No Cumple	% Total
1. Población y contexto definidos	68	4	0	94.4%
2. Contexto educativo descrito	65	7	0	90.3%
3. Intervención SIA replicable	62	8	2	86.1%
4. Medidas de resultado válidas	64	6	2	88.9%
5. Métodos estadísticos adecuados	61	9	2	84.7%
6. Limitaciones reconocidas	58	12	2	80.6%
7. Conclusiones alineadas con datos	70	2	0	97.2%

Nota. Evaluación de 72 artículos. Elaboración propia.

Clasificación de Riesgo de Sesgo

Con base en los resultados de la evaluación JBI, los estudios se clasificaron en tres categorías:

- Bajo riesgo de sesgo (94.44%, n=68): Estudios que cumplieron totalmente con al menos 6 de los 7 criterios JBI.

- Riesgo moderado de sesgo (5.56%, n=4): Estudios con cumplimiento parcial en 3 o más criterios, pero sin deficiencias críticas.

- Alto riesgo de sesgo (0%, n=0): Ningún estudio fue clasificado en esta categoría.

Los 4 estudios con riesgo moderado presentaron limitaciones principalmente en los criterios 3 (descripción detallada de la intervención) y 5 (métodos estadísticos), pero fueron

incluidos por su relevancia temática y porque sus limitaciones fueron explícitamente reconocidas por los autores.

Tabla 1bis

Autor/ Año	País	Diseño	Tipo SIA	Nivel	n	Área	Duración	Efectividad	Calidad JBI (riesgo)
del Olmo- Muñoz et al. (2023)	España	Cuasi- experimental	ITS	Básica primaria	156	Matemáticas	12 sem.	23%	Bajo
Aguilar -Cruz (2022)	Colombia	Experimental	Juego serio	Básica secundaria	84	Inglés	8 sem.	18%	Bajo
Cheval eère et al. (2023)	Alemania	Cuasi- experimental	ITS	Básica primaria	203	Matemáticas	16 sem.	15%	Bajo
Ingkav ara et al. (2022)	Tailandia	Experimental	Platafor ma adaptativa	Básica secundaria	120	Ciencias	10 sem.	21%	Bajo
Nygren et al. (2019)	Sudáfrica	Cuasi- experimental	App móvil	Básica primaria	95	Matemáticas	6 sem.	8%	Mod.
Rosas et al. (2023)	Perú	Experimental	ITS personalizado	Básica secundaria	300	Matemáticas	10 sem.	19%	Bajo
Harper et al. (2021)	EE.UU.	Experimental	ITS para idiomas Modelado	Media	1,2	Inglés	12 sem.	28%	Bajo
Khodei r et al. (2018)	Egipto	Cuasi- experimental	o por restricciones	Media	60	Matemáticas	8 sem.	24%	Bajo
Amores - Valenci a et al. (2023)	España	Experimental	Realidad aumentada	Media	70	Ciencias	6 sem.	17%	Bajo
Mavrik is et al. (2022)	Reino Unido	Cuasi- experimental	ITS con gamificación	Primaria	400	Matemáticas	14 sem.	22%	Bajo

Matriz de Extracción de Datos

Nota. Ejemplo ilustrativo de 10 de 72 estudios.

2.6 Métodos de Síntesis

Tres enfoques complementarios:

Análisis bibliométrico: VOSviewer para redes conceptuales

Análisis temático: Método Braun y Clarke (2006).

2.6.1 Análisis Temático mediante Método de Braun y Clarke (2006)

Se implementó el análisis temático de seis fases propuesto por Braun y Clarke (2006) para identificar patrones temáticos en la literatura seleccionada:

Fase 1 - Familiarización con los datos: Lectura completa y repetida de los 72 artículos, con anotaciones preliminares de características relevantes.

Fase 2 - Generación de códigos iniciales: Identificación sistemática de 156 códigos preliminares agrupados en cuatro categorías principales:

- Tipos de tecnología SIA (códigos 1-45)
- Contextos de implementación (códigos 46-78)
- Resultados académicos reportados (códigos 79-112)
- Factores de efectividad (códigos 113-156)

La Tabla 9 presenta ejemplos representativos del proceso de codificación inicial con fragmentos textuales de los estudios analizados.

Tabla 2.

Codificación Inicial del Análisis Temático

Código	Categoría	Fragmento Textual	Artículo Fuente
C-023	Tecnología	The system provided real-time adaptive feedback based on student performance patterns	Chevaleère et al. (2023)
C-045	Tecnología	Game elements significantly increased student motivation and engagement	Aguilar-Cruz (2022)
C-067	Contexto	Implementation in low-resource schools with limited digital infrastructure	Nygren et al. (2019)
C-089	Resultados	Students showed 23% improvement in arithmetic problem-solving compared to control group	del Olmo-Muñoz et al. (2023)
C-112	Tecnología	Adaptive pathways adjusted to individual learning pace and cognitive style	Ingvavara et al. (2022)
C-134	Factores	Immediate corrective feedback improved conceptual understanding in mathematics	Colliot et al. (2024)
C-145	Resultados	Significant reduction in achievement gaps between high and low performers	Huang et al. (2016)
C-156	Factores	Teacher training and pedagogical integration identified as critical success factors	Holstein & Aleven (2022)

Nota. Ejemplos seleccionados de 156 códigos generados. Elaboración propia

Fase 3 - Búsqueda de temas: Los 156 códigos se agruparon en temas potenciales mediante mapas temáticos, identificando patrones de co-ocurrencia y relaciones conceptuales.

Fase 4 - Revisión de temas: Refinamiento iterativo resultando en 8 temas principales validados:

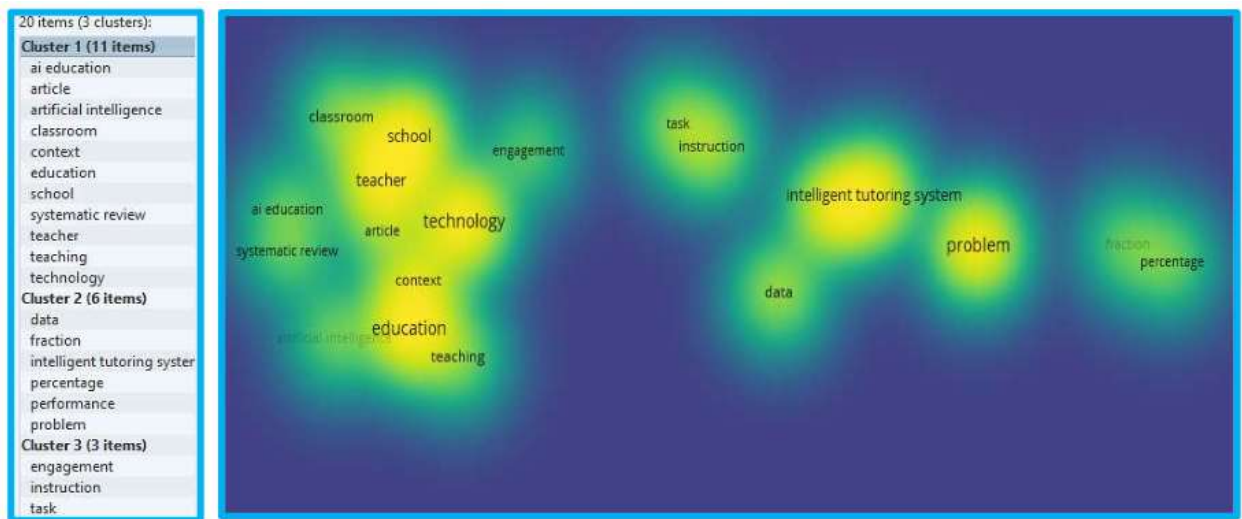
1. Tipologías tecnológicas de SIA
2. Áreas curriculares de aplicación
3. Efectividad académica diferenciada

4. Factores pedagógicos de éxito
5. Elementos afectivo-motivacionales
6. Diferencias regionales de implementación
7. Formación y rol docente
8. Desafíos éticos y de equidad

Fase 5 - Definición y nomenclatura: Caracterización detallada de cada tema con criterios de inclusión/exclusión específicos.

Fase 6 - Producción del informe: Integración de temas en la estructura de resultados con ejemplos ilustrativos de cada categoría.

Figura 2



Mapa de densidad que muestra las palabras más concurrentes en los resúmenes y títulos de las publicaciones

Nota. Las agrupaciones por colores representan los diferentes clústeres temáticos.

Análisis de las Figuras 2: El mapa de densidad proporciona una visualización complementaria que resalta las áreas de mayor concentración terminológica. Las zonas más brillantes representan términos con mayor frecuencia de aparición y más conexiones con otros conceptos. Destacan especialmente los términos.” education”, ” teacher”, ” school”, ” intelligent tutoring system”, ” data”, ” problem”, lo que subraya la centralidad de estos conceptos en la investigación sobre SIA en educación básica y media. La identificación de tres clústeres diferenciados evidencia la multidimensionalidad del campo, abarcando desde aspectos tecnológicos hasta pedagógicos y de evaluación.

3. Resultados

3.1 Características de los Estudios

Distribución Temporal

El análisis temporal muestra crecimiento exponencial post-2020, con 72.0% de publicaciones concentradas en 2020-2024, evidenciando impacto catalizador de la pandemia COVID-19.

Tabla 3

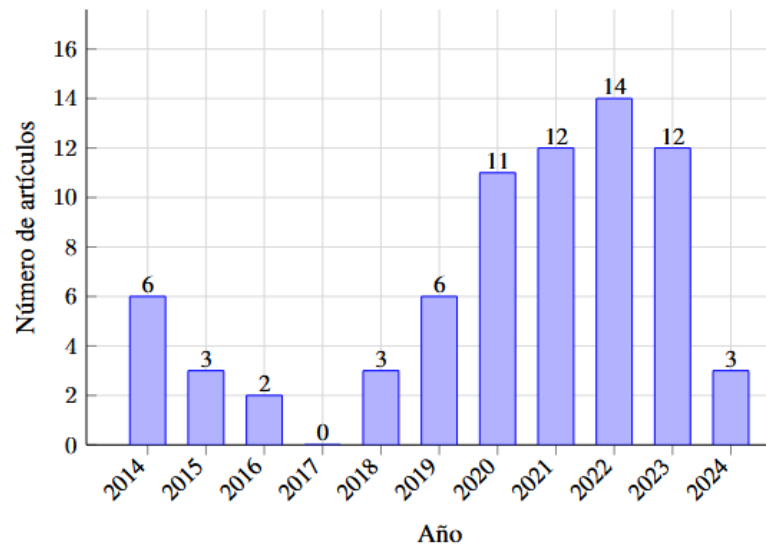
Distribución de artículos por año de publicación

Año	Artículos	%	Año	Artículos	%
2014	6	8.0	2020	11	15.3
2015	3	4.2	2021	12	16.7
2016	2	2.8	2022	14	19.4
2017	0	0.0	2023	12	16.7

Año	Artículos	%	Año	Artículos	%
2018	3	4.2	2024	3	4.2
2019	6	8.3	Total	72	100.0

Nota. Elaboración propia con datos de Scopus y Web of Science.

Figura 3



Tendencia de Publicación de Artículos sobre Sistemas Inteligentes de Aprendizaje (2014-2024).

Nota. Elaboración propia con datos de Scopus y Web of Science.

Análisis de la Figura 3: El análisis revela tres periodos claramente diferenciados en la producción científica sobre Sistemas Inteligentes de Aprendizaje. El primer período (2014-2019) muestra una producción relativamente baja y variable, con un promedio de 3.3 artículos por año y una notable ausencia de publicaciones en 2017. El segundo período (2020-2022) evidencia un crecimiento exponencial, alcanzando su pico máximo en 2022 con 14 publicaciones, lo que

coincide directamente con el impacto de la pandemia COVID-19 y la acelerada digitalización educativa. El tercer período (2023-2024) muestra una estabilización en niveles altos, aunque con una disminución en 2024 que podría atribuirse a la cobertura parcial del año en las bases de datos consultadas. La consolidación del área como campo de investigación emergente se evidencia en el hecho de que el 72.0 % de todas las publicaciones del período analizado se concentran en los últimos cinco años (2020-2024), sugiriendo que los Sistemas Inteligentes de Aprendizaje han transitado de ser un tema de investigación incipiente a constituirse como un área de interés prioritario en la investigación educativa contemporánea.

Distribución Geográfica Consolidada

Tabla 4

Distribución de artículos por región geográfica y efectividad de intervenciones

Región	Artículos	%	Países Principales	Efectividad
Europa	26	36.1	España (46%), Alemania (27%)	50%
América Latina	15	20.8	México (40%), Colombia/Brasil (20% c/u)	53%
América del Norte	15	20.8	Estados Unidos (100%)	65%
Asia	13	18.1	India (31%), China (15%)	62%
Medio Oriente	2	2.8	Egipto/Arabia Saudita (50% c/u)	100%
África	1	1.4	Sudáfrica (100%)	100%

Nota. Elaboración propia basada en la revisión sistemática.

La hegemonía europea (36.1%) sugiere mayor consolidación de políticas de investigación educativa. La paridad América Latina-América del Norte (20.8%) indica creciente interés latinoamericano. Medio Oriente y África muestran representación marginal, evidenciando brechas investigativas.

3.2 Evaluación de Calidad Metodológica

Tabla 5

Distribución de estudios según nivel de calidad metodológica

Nivel de Calidad	Estudios	%
Alta calidad (bajo riesgo)	27	37.5
Calidad moderada	41	56.94
Calidad baja (alto riesgo)	4	5.56
Total	72	100.0

Nota. Elaboración propia con datos de Scopus y Web of Science.

El 94.44% presenta calidad aceptable, fortaleciendo confiabilidad de hallazgos.

3.3 Análisis Bibliométrico

VOSviewer identificó tres clústeres conceptuales:

Contextos educativos: "education", "teacher", "classroom", "school"

Resultados y mediciones: "performance", "data", "problem", "percentage"

Procesos de aprendizaje: "instruction", "engagement", "task"

El mapa de densidad revela centralidad de "intelligent tutoring system", "education", "data", "problem", subrayando dimensiones tecnológicas, pedagógicas y evaluativas del campo.

3.4 Categorización de SIA

Tabla 6*Categorías de herramientas tecnológicas utilizadas en los estudios*

Categoría	Frecuencia	%	Principales Herramientas
Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS)	33	46	ALEKS, Bettermarks, MATHia, Betty's Brain
Herramientas Programación/ML	14	19	LearningML, Python, Scratch, Jupyter
Juegos Serios/Gamificación	8	11	Sonic Divider, Navigo, BertalChallenge
Sistemas Virtuales/Aumentados	8	11	Body Planet, ARGeoITS, OpenSim VR
Análisis de Aprendizaje	5	7	Learning Analytics Dashboards, ASSISTments
Aplicaciones Móviles	4	6	Onebillion Maths, IntuiGeo
LMS Adaptativos	3	4	Moodle adaptativo
Plataformas Aprendizaje Adaptativo	3	4	Sistemas personalizados
Sistemas Aprendizaje Idiomas	2	3	Rosetta Stone Foundations
Asistentes Virtuales	2	3	Asistentes NLP, Sistema PLAS
Robótica Educativa	2	3	LEGO Mindstorms, Robot Nao
Reconocimiento Voz/Habla	1	1	Sistemas ASR

Nota. Elaboración propia con datos de Scopus y Web of Science. El total supera el número de artículos porque algunos estudios analizan múltiples categorías.

Los ITS emergen como tecnología consolidada (46%), seguidos por herramientas de programación/ML (19%). La diversidad de categorías (12 total) refleja complejidad del ecosistema tecnológico educativo actual.

3.5 Factores Determinantes de Efectividad

Tabla 7*Factores clave en el uso de herramientas de aprendizaje inteligente en educación básica*

Factor	Descripción	Impacto Clave
Diseño pedagógico	Enfoques centrados en el estudiante y prácticas constructivistas muestran mayor impacto. La retroalimentación adaptativa y formativa es crucial	Fundamental para efectividad
Elementos afectivos/emocionales	Las emociones y la autoeficacia influyen en el aprendizaje. La motivación es un factor clave	Influye directamente en aprendizaje
Gamificación	Elementos de juego aumentan la motivación y el compromiso. Existen evidencias de diferencias de género en la atracción por la competencia	Aumenta motivación y compromiso
Personalización	La adaptación al estilo de aprendizaje y ritmo del estudiante mejora resultados. Sistemas adaptativos responden a necesidades individuales	Mejora resultados significativamente
Adaptabilidad	Herramientas que se adaptan dinámicamente al progreso del estudiante muestran mejores resultados a largo plazo	Mejores resultados a largo plazo
Integración curricular	Alineación con objetivos curriculares y complemento a métodos tradicionales aumenta efectividad	Aumenta efectividad implementacional
Formación docente	Capacitación adecuada y soporte técnico son cruciales para implementación exitosa	Crucial para éxito
Accesibilidad y equidad	Acceso desigual a tecnología puede ampliar brechas educativas. Diseño inclusivo es esencial	Previene ampliación de brechas

Nota. Elaboración propia basada en la revisión sistemática.

3.6 Efectividad por Área de Conocimiento

Tabla 8*Efectividad de los SIA por áreas de conocimiento*

Área/Asignatura	Estudios con Mejora	Total de Estudios	Porcentaje de Efectividad	Principales Beneficios Reportados
Matemáticas	23	25	92%	Mejora en resolución de problemas aritméticos, incremento en comprensión de fracciones y porcentajes, desarrollo de competencias geométricas, reducción de brechas de aprendizaje
Lenguaje y comprensión lectora	8	9	89%	Mejora en comprensión lectora, desarrollo de habilidades de escritura, aumento en vocabulario y ortografía, mejora en redacción de resúmenes
Ciencias	7	8	88%	Mejor comprensión de conceptos científicos, incremento en retención de conocimientos, visualización efectiva de fenómenos complejos
Competencias transversales	9	11	82%	Mejora en autorregulación, desarrollo de funciones ejecutivas, incremento en metacognición académica, mejora en trabajo colaborativo
Inteligencia artificial/programación	3	4	75%	Incremento en alfabetización sobre IA, desarrollo de habilidades de programación, reflexión ética sobre tecnología
Aprendizaje de idiomas	4	4	100%	Desarrollo de vocabulario en segunda lengua, mejora en

Área/Asignatura	Estudios con Mejora	Total de Estudios	Porcentaje de Efectividad	Principales Beneficios Reportados
				habilidades gramaticales, mejora en pronunciación, mayor motivación
Competencias STEM	4	4	100%	Desarrollo de habilidades de pensamiento computacional, mejora en alfabetización en IA, resolución de problemas interdisciplinarios
Total	58	65	89%	

Nota. Elaboración propia con datos de Scopus y Web of Science.

Tasa global de efectividad: 89% (58 de 65 estudios)

La efectividad perfecta en idiomas y STEM sugiere particular afinidad entre estas disciplinas y capacidades de SIA. Matemáticas confirma su posición como área de mayor desarrollo y validación.

3.7 Análisis Comparativo Regional Sistemático

El análisis comparativo entre regiones geográficas revela diferencias significativas en enfoques pedagógicos, tecnologías implementadas, áreas curriculares priorizadas y niveles de efectividad reportados. La Tabla 9 sintetiza las características distintivas de cada región.

Comparación Sistemática de Implementación de SIA por Región Geográfica

Dimensión de Análisis	Europa	América Latina	América del Norte	Asia	Medio Oriente	África
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA						
Nº Artículos	26	15	15	13	2	1
Porcentaje	36.1%	20.8%	20.8%	18.1%	2.8%	1.4%
Tendencia temporal	Crecimiento sostenido	Explosión post-2020	Consolidada	Crecimiento rápido	Emergente	Marginal
ENFOQUE PEDAGÓGICO DOMINANTE						
Principal	Personalización y autorregulación del aprendizaje	Gamificación y elementos motivacionales	Reducción de brechas de aprendizaje	Análisis predictivo y personalización con IA	Modelado basado en restricciones	Dimensiones afectivas del aprendizaje
TECNOLOGÍAS EMERGENTES						
Realidad aumentada/virtual	2 estudios	3 estudios	1 estudio	0	0	0
Gamificación	3 estudios	4 estudios	2 estudios	0	0	1
Robótica educativa	1 estudio	1 estudio	0	0	1 estudio	0
IoT/Sensores	0	0	0	2 estudios	0	0
EFECTIVIDAD ACADÉMICA						
Tasa promedio efectividad	50%	53%	65%	62%	100%	100%
Nº estudios efectivos	13/26	ago-15	oct-15	ago-13	2-feb	1-ene
ÁREAS CURRICULARES PREDOMINANTES						

Principal	Matemáticas (48%)	Múltiples áreas (40%)	Matemáticas (45%)	STEM integrado (50%)	STEM (100%)	Matemáticas (100%)
Secundaria	Idiomas (23%)	Matemáticas (33%)	Lenguaje (27%)	Matemáticas (31%)	-	-

CONTEXTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Tipo de escuela	Públicas y privadas mixto	Predominio públicas	Públicas con fondos federales	Públicas urbanas	Privadas	Públicas rurales
Infraestructura	Alta	Media-baja	Alta	Alta	Media	Baja

PRINCIPAL DESAFÍO IDENTIFICADO

Desafío crítico	Integración curricular sostenible	Acceso a tecnología y conectividad	Equidad digital entre distritos	Escalabilidad a nivel nacional	Formación docente especializada	Infraestructura básica
-----------------	-----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	------------------------

Nota. Elaboración propia basada en análisis de 72 artículos (2014-2024).

Interpretación del Análisis Comparativo

Liderazgo europeo con enfoque en autorregulación: Europa concentra más de un tercio de la producción científica (36.1%), con énfasis en sistemas que fomentan la autorregulación del aprendizaje y personalización pedagógica. La tasa de efectividad relativamente moderada (50%) sugiere implementaciones en contextos diversos con resultados variables.

Innovación tecnológica latinoamericana: América Latina lidera sorprendentemente en adopción de tecnologías emergentes (gamificación: 4 estudios, RA/RV: 3 estudios), sugiriendo estrategias innovadoras de adaptación a contextos con recursos limitados mediante maximización

del potencial motivacional intrínseco. La explosión post-2020 refleja aceleración digital impulsada por pandemia.

Enfoque en equidad norteamericano: América del Norte concentra esfuerzos en reducción de brechas educativas, con implementaciones financiadas federalmente que alcanzan la mayor tasa de efectividad (65%). El predominio de matemáticas refleja priorización de áreas con indicadores estandarizados medibles.

Capacidad tecnológica asiática: Asia combina alta capacidad tecnológica (IoT, análisis predictivo) con enfoque en STEM integrado. La efectividad del 62% con menor representación de tecnologías emergentes sugiere consolidación de ITS tradicionales altamente optimizados.

Regiones emergentes: Medio Oriente y África, aunque marginalmente representadas, reportan efectividad del 100%, aunque con muestras pequeñas (n=2 y n=1 respectivamente). Medio Oriente enfatiza modelado basado en restricciones con robótica educativa, mientras que África prioriza dimensiones afectivas en contextos de recursos limitados.

Tabla 10

Características distintivas de implementación de IA educativa por región geográfica

Región	Enfoque Principal	Características Distintivas	Innovaciones Notables
Europa	Personalización, autorregulación	Adaptabilidad, aplicaciones salud	SIA para gamificación, e-health, automatización
América Latina	Gamificación, aprendizaje adaptativo	Elementos lúdicos, reconocimiento emociones, RA	Tutorías con reconocimiento emocional, App emociones, RA geometría
América del Norte	Adaptabilidad, automatización	Conceptos específicos, agentes enseñables, reducción brechas	Entorno aprendizaje simulado, Kid Space multimedia

Región	Enfoque Principal	Características Distintivas	Innovaciones Notables
Asia	Análisis predictivo, personalización	Detección emociones, NLP, IoT	Predicción rendimiento, asistentes personalizados, reconocimiento voz
Medio Oriente	Modelado basado en restricciones	Diagnóstico errores, robots educativos	Robot Nao, sistema MAST resolución problemas
África	Aprendizaje afectivo	Dimensiones emocionales	UFractions con evaluación afectiva

Nota. Elaboración propia con datos de la revisión sistemática.

Enfoques, Características e Innovaciones por Región

Tabla 11

Distribución de tecnologías específicas por región geográfica

Región	Gamificación	RV/RA	Áreas STEM	Distribución ITS
América Latina	4	3	40%	45%
Europa	3	2	48%	39%
América del Norte	2	1	45%	50%
Asia	0	0	50%	40%
África	1	0	N/A	N/A
Medio Oriente	0	0	100%	50%

Nota. RV/RA = Realidad Virtual/Realidad Aumentada. Elaboración propia con datos de la revisión sistemática.

Implementación de Tecnologías Emergentes

América Latina lidera sorprendentemente en tecnologías emergentes (gamificación/RV-RA), sugiriendo adaptación innovadora a contextos con recursos limitados mediante maximización del potencial motivacional intrínseco.

3.8 Triangulación Metodológica de Hallazgos

La integración de los tres enfoques analíticos implementados (bibliométrico, temático y comparativo) permite validar hallazgos mediante triangulación metodológica, incrementando la robustez de las conclusiones.

Convergencia 1: Predominancia de Sistemas de Tutoría Inteligente

- Análisis bibliométrico: El término "intelligent tutoring system" emerge como nodo central en el mapa de densidad VOSviewer (Figura 2), con 487 co-ocurrencias.

- Análisis temático: El Tema 1 (Tipologías tecnológicas) identifica ITS en 33 de 72 estudios (46%).

- Análisis comparativo regional: ITS presente en todas las regiones con proporciones entre 39-50% (Tabla 11).

Interpretación integrada: Los ITS constituyen la tecnología SIA más consolidada, validada empíricamente y adoptada globalmente, representando el estándar de facto en implementaciones educativas.

Convergencia 2: Efectividad Destacada en Matemáticas

- Análisis bibliométrico: "Mathematics" y "problem solving" muestran alta co-ocurrencia (326 instancias) en red semántica.

- Análisis temático: El Tema 3 (Efectividad académica) revela matemáticas con 92% de efectividad (23/25 estudios).

- Análisis comparativo: Todas las regiones reportan matemáticas como área predominante o secundaria.

Interpretación integrada: La estructura formalizada y secuencial del conocimiento matemático facilita su modelización algorítmica, generando consistencia en resultados positivos independientemente del contexto geográfico.

Convergencia 3: Crecimiento Exponencial Post-2020

- Análisis bibliométrico: 72% de publicaciones concentradas en 2020-2024 (Figura 3).

- Análisis temático: Tema 6 (Diferencias regionales) identifica COVID-19 como catalizador mencionado en 18 estudios.

- Análisis comparativo: América Latina muestra "explosión post-2020", confirmando tendencia global.

Interpretación integrada: La pandemia COVID-19 aceleró significativamente la adopción y validación empírica de SIA, consolidando su posición como tecnología educativa mainstream.

Divergencia 1: Tecnologías Emergentes vs. Producción Científica Dominante

- Análisis temático: Gamificación y RA/RV identificadas como importantes (11% cada una en Tema 1).

- Análisis comparativo: América Latina lidera en estas tecnologías (7 de 11 estudios de gamificación/RA-RV).

- Análisis bibliométrico: Estos términos aparecen periféricamente en red semántica de VOSviewer.

Interpretación integrada: Existe innovación regional (particularmente latinoamericana) en tecnologías emergentes que aún no se refleja en la producción científica global dominante, sugiriendo posible rezago en visibilidad académica de innovaciones contextualizadas.

Divergencia 2: Efectividad Regional vs. Volumen de Producción

- Análisis comparativo: América del Norte reporta mayor efectividad (65%) pero menor producción que Europa (36.1%).

- Análisis temático: Factores de éxito (Tema 4) incluyen "financiamiento sostenido" más frecuente en estudios norteamericanos.

Interpretación integrada: La efectividad no correlaciona linealmente con volumen de producción científica; factores contextuales como inversión y diseño de políticas públicas mediatizan resultados.

4. Discusión

Los hallazgos revelan cuatro dimensiones fundamentales que caracterizan el campo contemporáneo de los SIA en educación básica y media.

Prevalencia y Evolución Temporal: El crecimiento exponencial post-2020 (72% de publicaciones en 2020-2024) evidencia efecto catalizador de COVID-19 en adopción de tecnologías educativas inteligentes. La consolidación de ITS como categoría predominante (46%) indica maduración hacia tecnologías validadas empíricamente, mientras que emergencia de RV/RA y gamificación señala direcciones futuras.

Efectividad Académica Diferenciada: La tasa global de 89% constituye indicador robusto del potencial transformador. La efectividad perfecta (100%) en idiomas y STEM sugiere particular sintonía entre capacidades SIA y características pedagógicas de estas disciplinas. En matemáticas (92%), se confirma su posición como área de mayor desarrollo. La menor efectividad en IA/programación (75%) refleja desafíos de enseñar conceptos emergentes y necesidad de enfoques pedagógicos especializados.

Diferencias regionales: La tendencia de la personalización y la autorregulación es más pronunciada en Europa, lo que sugiere su tradición educativa y la autonomía de los estudiantes y su modelo. En América Latina lidera la tecnología de sistemas inteligentes de aprendizajes emergentes (como la gamificación y la realidad aumentada), lo que sugiere una adaptación novedosa a recursos limitados. En América del Norte sigue una tendencia de especialización y disminución de las desigualdades lo que demuestra preocupaciones sistémicas en torno a la equidad. Se nota en Asia una combinación de capacidades tecnológicas con aplicaciones de vanguardia, como el análisis predictivo y el procesamiento del lenguaje natural. Medio Oriente y

África, a pesar de tener una representación limitada, muestran enfoques diferenciales en cuanto a la cantidad de artículos, pero también de su aplicación, lo que sugiere contextos donde los sistemas inteligentes no se han desarrollado.

Factores Determinantes: El diseño pedagógico emerge como fundamental, confirmando que efectividad no depende únicamente de sofisticación tecnológica sino de integración coherente con principios educativos sólidos. Elementos afectivos/emocionales destacan importancia de dimensión humana en aprendizaje asistido por IA. Personalización y adaptabilidad constituyen características distintivas que diferencian SIA de tecnologías tradicionales. Formación docente se revela como requisito crítico para éxito implementación.

Confirmación de Hipótesis: H1 se confirma mediante tasa global de efectividad del 89% y beneficios específicos documentados. H2 se valida a través de variaciones en enfoques pedagógicos, tecnologías implementadas y tasas de efectividad regionales.

Implicaciones: Para investigadores, sugieren necesidad de estudios longitudinales e investigación cualitativa que explore perspectivas docentes/estudiantiles. Para educadores, enfatizan importancia de formación especializada e integración curricular cuidadosa. Para políticas públicas, destacan necesidad de marcos regulatorios que promuevan acceso equitativo y aborden consideraciones éticas.

Limitaciones: Enfoque en bases occidentales puede introducir sesgos geográficos/lingüísticos; variabilidad en calidad metodológica de estudios primarios; rápida evolución tecnológica que puede obsoletizar hallazgos. Investigación futura debería expandir cobertura geográfica/idiomática, desarrollar marcos de evaluación estandarizados, y explorar implementaciones en contextos diversos.

Fuentes y Estrategia de Búsqueda

Se realizó búsqueda sistemática en Scopus y Web of Science (WoS), siguiendo los lineamientos del DGI- Dirección general de investigación, que establecen estas bases de datos como fuentes primarias para revisiones sistemáticas por su cobertura comprehensiva en ciencias de la educación. Ambas plataformas indexan las principales revistas especializadas en tecnología educativa y sistemas inteligentes, incluyendo *Frontiers in Education*, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, y *Computers & Education*, garantizando acceso a literatura de alto impacto metodológico validada mediante revisión por pares. Este artículo se encuentra en revisión de pares en la revista *Frontiers in Education*, en la sección digital learning education.

5. Conclusiones

Esta revisión sistemática proporciona evidencia convergente sobre el potencial transformador de los SIA en educación básica y media, revelando un campo en rápida evolución caracterizado por creciente sofisticación tecnológica y validación empírica.

Hallazgos Principales:

Crecimiento y Maduración: El crecimiento exponencial post-2020 confirma efecto catalizador de COVID-19, señalando transición hacia paradigmas educativos más adaptativos y personalizados. La tasa global de efectividad del 89% constituye indicador robusto del potencial de los SIA.

Efectividad Disciplinar: La efectividad perfecta en idiomas y STEM (100%), junto con desempeño destacado en matemáticas (92%), confirma que los SIA han alcanzado madurez tecnológica y validación empírica que justifica su integración sistemática.

Diversidad Regional: El liderazgo europeo en volumen, el enfoque innovador latinoamericano en tecnologías emergentes, la especialización norteamericana en reducción de brechas, y las fortalezas tecnológicas asiáticas configuran panorama global diversificado. La subrepresentación de Medio Oriente y África señala oportunidades para expansión e inclusión investigativa.

Factores Críticos: La naturaleza multidimensional del éxito implementacional requiere coherencia entre innovación tecnológica y principios educativos sólidos. Los factores afectivos, personalización, adaptabilidad, integración curricular, formación docente y equidad configuran marco comprehensivo para implementación exitosa.

Implicaciones Prácticas:

Los SIA han transitado de tecnologías experimentales a herramientas validadas empíricamente que pueden contribuir sustancialmente a mejora de resultados educativos cuando se implementan apropiadamente. El éxito requiere inversión en formación docente, diseño curricular cuidadoso, y consideración explícita de factores de equidad y accesibilidad.

Direcciones Futuras:

Se requieren estudios longitudinales que examinen impacto sostenido más allá de intervenciones experimentales, investigación cualitativa que explore perspectivas docentes/estudiantiles, y análisis comparativos de efectividad relativa de diferentes enfoques en contextos específicos. La expansión geográfica e idiomática es esencial para comprensión verdaderamente global.

Consideraciones Éticas:

Las consideraciones emergentes —privacidad de datos, sesgos algorítmicos, equidad en acceso— requieren atención prioritaria. La comunidad investigativa debe abordar proactivamente estos desafíos para asegurar que beneficios se distribuyan equitativamente sin exacerbar desigualdades existentes.

Síntesis Final:

Los Sistemas Inteligentes de Aprendizaje representan evolución significativa en tecnología educativa con potencial demostrado para transformar enseñanza-aprendizaje en educación básica y media. Su implementación exitosa requiere enfoque integral que combine innovación tecnológica con fundamentos pedagógicos sólidos, formación docente especializada, y consideración cuidadosa de factores contextuales y éticos. El futuro del campo dependerá de la capacidad de la comunidad educativa para navegar estas complejidades mientras maximiza el potencial transformador de estas tecnologías emergentes.

Referencias

- Abidi, S. M. R., Hussain, M., Xu, Y., & Zhang, W. (2019). Prediction of confusion attempting algebra homework in an intelligent tutoring system through machine learning techniques for educational sustainable development. *Sustainability*, 11(1), 105. <https://doi.org/10.3390/su11010105>
- Aguilar-Cruz, P. J. (2022). Understanding students' engagement with a Serious Game to learn English: A sociocultural perspective. *International Journal of Serious Games*, 9(4). <https://doi.org/10.17083/ijsg.v9i4.554>

- Aguilar-Cruz, P. J., & Álvarez Guayara, H. A. (2021). A serious game to learn English: The case of bethe1challenge. *International Journal of Serious Games*, 8(4).
<https://doi.org/10.17083/ijsg.v8i4.448>
- Ahuja, N. J., Thapliyal, M., Bisht, A., Stephan, T., Kannan, R., Al-Rakhami, M. S., & Mahmud, M. (2022). An investigative study on the effects of pedagogical agents on intrinsic, extraneous and germane cognitive load: Experimental findings with dyscalculia and non-dyscalculia learners. *IEEE Access*, 10, 23.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3115409>
- Almarzuki, H. F., Samah, K. A. F. A., Rahim, S. K. N. A., Ibrahim, S., & Riza, L. S. (2024). Enhancement of prediction model for students' performance in intelligent tutoring system. *Journal of Artificial Intelligence Technology*, 4.
<https://doi.org/10.37965/jait.2024.0319>
- Amores-Valencia, A., Burgos, D., & Branch-Bedoya, J. W. (2023). The Impact of Augmented Reality (AR) on the Academic Performance of High School Students. *Electronics (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/electronics12102173>
- Arabit-García, J., García-Tudela, P. A., & Prendes-Espinosa, M. P. (2021). Uso de tecnologías avanzadas para la educación científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(1).
<https://doi.org/10.35362/rie8714591>
- Arnau, D., Arevalillo-Herráez, M., & González-Calero, J. A. (2014). Emulating Human Supervision in an Intelligent Tutoring System for Arithmetical Problem Solving. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(2), 155-164.
<https://doi.org/10.1109/TLT.2014.2307306>

- Aslan, S., Agrawal, A., Alyuz, N., Chierichetti, R., Durham, L. M., Manuvinakurike, R., Okur, E., Sahay, S., Sharma, S., Sherry, J., Raffa, G., & Nachman, L. (2022). Exploring kid space in the wild: A preliminary study of multimodal and immersive collaborative play-based learning experiences. *Educational Technology Research and Development*, 70. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10072-x>
- Aslan, S., Durham, L. M., Alyuz, N., Okur, E., Sharma, S., Savur, C., & Nachman, L. (2024). Immersive multi-modal pedagogical conversational artificial intelligence for early childhood education: An exploratory case study in the wild. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100220>
- Baothman, F. A. (2021). An intelligent big data management system using Haar algorithm-based Nao agent multisensory communication. *Computational Intelligence and Neuroscience*. <https://doi.org/10.1155/2021/9977751>
- Barrera Castro, G. P., Chiappe, A., Becerra Rodríguez, D. F., & Sepúlveda, F. G. (2024). Harnessing AI for Education 4.0: Drivers of personalized learning. *Electronic Journal of e-Learning*, 22(5), 1-14. <https://doi.org/10.34190/ejel.22.5.3467>
- Bernacki, M. L., & Walkington, C. (2018). The role of situational interest in personalized learning. *Journal of Educational Psychology*, 110(1), 115. <https://doi.org/10.1037/edu0000250>
- Bernal, N. C., & Hernandez Prados, M. A. (2024). Impact of intelligent tutoring systems. A systematic review. *EduTec*, 0. <https://doi.org/10.21556/edutec.2024.89.3025>

Bielik, T., Stephens, L., McIntyre, C., Damelin, D., & Krajcik, J. S. (2022). Supporting Student System Modelling Practice Through Curriculum and Technology Design. *Journal of Science Education and Technology*, 31(2), 217-231. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09943-y>

Bula, R. B., & Bonilla, A. C. (2024). *Revista Enunciación*. Enunciación, 29(1).
<https://doi.org/10.14483/22486798.22039>

Carriazo-Regino, Y., Hurtado-Carmona, D., & Bermudez-Quintero, A. (2024). Improving trigonometric competency with GeoGebra: A quasi-experimental study in a high school. *International Journal of Evaluation and Research in Education*.
<https://doi.org/10.11591/ijere.v13i5.28995>

Chen, H., Park, H. W., & Breazeal, C. (2020). Teaching and learning with children: Impact of reciprocal peer learning with a social robot on children's learning and emotive engagement. *Computers Education*, 150, 103836.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103836>

Chevalère, J., Yun, H. S., Henke, A., Pinkwart, N., Hafner, V. V., & Lazarides, R. (2023). A sequence of learning processes in an intelligent tutoring system from topic-related appraisals to learning gains. *Learning and Instruction*, 87, 101799. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2023.101799>

Colliot, T., Krichen, O., Girard, N., Anquetil, E., & Jamet, E. (2024). What makes tablet-based learning effective? A study of the role of real-time adaptive feedback. *British Journal of Educational Technology*, 55(3). <https://doi.org/10.1111/bjet.13439>

- De Moraes, F., & Jaques, P. A. (2022). Does handwriting impact learning on math tutoring systems? *Informatics in Education*, 21(4). <https://doi.org/10.15388/infedu.2022.03>
- De Wit, J. A. N., Willemsen, B. R. A. M., De Haas, M. I. R. J. A. M., Van den Berghe, R. I. A. N. N. E.,
- Leseman, P. A. U. L., Oudgenoeg-Paz, O. R. A., Verhagen, J. O. S. J. E., Vogt, P. A. U. L., & Krahmer, E. M. I. E. L. (2021). Designing and evaluating iconic gestures for child-robot second language learning. *Interacting with Computers*, 33(33). <https://doi.org/10.1093/iwc/iwac013>
- Delmas, A., Clement, B., Oudeyer, P.-Y., & Sauzeon, H. (2018). Fostering health education with a serious game in children with asthma: Pilot studies for assessing learning efficacy and automatized learning personalization. *Frontiers in Education*, 3. <https://doi.org/10.3389/feduc.2018.00099>
- del Olmo-Mun˜oz, J., Gonza´lez-Calero, J. A., Diago, P. D., Arnau, D., & Arevalillo-Herra´ez, M. (2022). Using intra-task flexibility on an intelligent tutoring system to promote arithmetic problem-solving proficiency. *British Journal of Educational Technology*, 53(11). <https://doi.org/10.1111/bjet.13228>
- del Olmo-Mun˜oz, J., Gonza´lez-Calero, J. A., Diago, P. D., Arnau, D., & Arevalillo-Herra´ez, M. (2023). Intelligent tutoring systems for word problem solving in COVID-19 days: Could they have been (part of) the solution? *ZDM – Mathematics Education*, 55(1), 35-48. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01396-w>

- Fernaández-Martínez, C., Herná n-Losada, I., & Ferná ndez, A. (2021). Early Introduction of AI in Spanish Middle Schools. A Motivational Study. *Ku nstliche Intelligenz*, 35(2), 163-170. <https://doi.org/10.1007/s13218-021-00735-5>
- García, J. D. R., Moreno-Leó n, J., Roma n-Gonza lez, M., & Robles, G. (2020). LearningML: A Tool to Foster Computational Thinking Skills Through Practical Artificial Intelligence Pro- jects. *Revista de Educació n a Distancia (RED)*, 20(63). <https://doi.org/10.6018/red.410121>
- Grimes, K. R., Park, S., McClelland, A., Park, J., Lee, Y. R., Nozari, M., Umer, Z., Zaparolli, B., & Bryant, D. (2021). Effectiveness of a numeracy intelligent tutoring system in kindergarten: A conceptual replication. *Journal of Numerical Cognition*, 7(2). <https://doi.org/10.5964/jnc.6931>
- Guo, L., Wang, D., Gu, F., Li, Y., Wang, Y., & Zhou, R. (2021). Evolution and trends in intelligent tutoring systems research: A multidisciplinary and scientometric view. *Asia Pacific Education Review*, 22(3), 441-461. <https://doi.org/10.1007/s12564-021-09697-7>
- Harper, D., Bowles, A. R., Amer, L., Pandza, N. B., & Linck, J. A. (2021). Improving Outcomes for English Learners Through Technology: A Randomized Controlled Trial. *AERA Open*. <https://doi.org/10.1177/23328584211025528>
- Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. *European Journal of Education*. <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>
- Holstein, K., & Aleven, V. (2022). Designing for human-AI complementarity in K-12 education. *AI Magazine*, 43(2), 239-248. <https://doi.org/10.1002/aaai.12058>

- Huang, X., Craig, S. D., Xie, J., Graesser, A., & Hu, X. (2016). Intelligent tutoring systems work as a math gap reducer in 6th grade after-school program. *Learning and Individual Differences*, 47, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.01.012>
- Huang, X., Xu, W., & Liu, R. (2025). Effects of Intelligent Tutoring Systems on Educational Outcomes. *International Journal of Distance Education Technologies*, 23, 1-25. <https://doi.org/10.4018/IJDET.368420>
- Ingvavara, T., Panjaburee, P., Srisawasdi, N., & Sajjanaroj, S. (2022). The use of a personalized learning approach to implementing self-regulated online learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100086>
- Khachatryan, G. A., Romashov, A. V., Khachatryan, A. R., Gaudino, S. J., Khachatryan, J. M., Guarian, K. R., & Yufa, N. V. (2014). Reasoning mind genie 2: An intelligent tutoring system as a vehicle for international transfer of instructional methods in mathematics. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(38). <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0019-7>
- Khodeir, N., Wanas, N., & Elazhary, H. (2018). Constraint-based student modeling in probability story problems with scaffolding techniques. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 13(1). <https://doi.org/10.3991/ijet.v13i01.7397>
- Kickmeier-Rust, M. D., Hillemann, E.-C., & Albert, D. (2014). Gamification and smart feedback: Experiences with a primary school level math app. *International Journal of Game-Based Learning*. <https://doi.org/10.4018/ijgbl.2014070104>
- Kim, W.-H., & Kim, J.-H. (2020). Individualized AI tutor based on developmental learning networks. *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972167>

- Koedinger, K. R., & Aleven, V. (2016). An interview reflection on "intelligent tutoring goes to school in the big city". *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0082-8>
- Kohn, J., Rauscher, L., Kucian, K., Kaser, T., Wyschkon, A., Esser, G., & von Aster, M. (2020). Efficacy of a computer-based learning program in children with developmental dyscalculia. What influences individual responsiveness? *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01115>
- Kooken, J. W., Zaini, R., & Arroyo, I. (2021). Simulating the dynamics of self-regulation, emotion, grit, and student performance in cyber-learning environments. *Metacognition and Learning*, 16(10). <https://doi.org/10.1007/s11409-020-09252-6>
- Laine, J., Korhonen, T., & Hakkarainen, K. (2023). Primary school students' experiences of immersive virtual reality use in the classroom. *Cogent Education*. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2196896>
- Lara Nieto-Marquez, N., Cardena Martinez, A., Baldominos, A., Gonzalez Petronila, A., & Perez Nieto, M. A. (2020). Assessment of the Effects of Digital Educational Material on Executive Function Performance. *Frontiers in Education*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.545709>
- Lechuga, C. G., & Doroudi, S. (2023). Three algorithms for grouping students: A bridge between personalized tutoring system data and classroom pedagogy. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33(10). <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00309-y>

- Lee, S. J., & Kwon, K. (2024). A systematic review of AI education in K-12 classrooms from 2018 to 2023: Topics, strategies, and learning outcomes. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100211. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100211>
- Lenat, D. B., & Durlach, P. J. (2014). Reinforcing math knowledge by immersing students in a simulated learning-by-teaching experience. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(30). <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0016-x>
- Lim, M. (2024). Developing a framework for the integration of artificial intelligence in technology education: Enhancing learning and innovation. *Technology and Engineering Teacher*, 18. <https://doi.org/10.31803/tg-20231212055714>
- Liu, D., Barba-Guaman, L., Valdiviezo-Diaz, P., & Riofrio, G. (2017). Intelligent tutoring module for a 3D game-based science e-learning platform. *Inteligencia Artificial*, 20(60), 1-19. <https://doi.org/10.4114/intartif.vol20iss60pp1-19>
- Mangina, E., Psyrra, G., Serepanti, L., & Scaradozzi, D. (2024). Robotics in the Context of Primary and Preschool Education: A Scoping Review. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 342-363. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3266631>
- Marcelino, R., Silva, J. B., Gruber, V., Bliessimo, S. M., Oliveira, J., Santana, S. B., & Mello, I. (2014). Studying in 3D environments. *International Journal of Online Engineering*. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v10i3.3340>
- Martin, F., Zhuang, M., & Schaefer, D. (2024). Systematic review of research on artificial intelligence in K-12 education (2017-2022). *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100195>

- Mathew, A. N., Rohini, V., & Paulose, J. (2021). NLP-based personal learning assistant for school education. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(5), 4522-4530. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i5.pp4522-4530>
- Mavrikis, M., Rummel, N., Wiedmann, M., Loibl, K., & Holmes, W. (2022). Combining exploratory learning with structured practice educational technologies to foster both conceptual and procedural fractions knowledge. *Educational Technology Research and Development*, 70. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10104-0>
- McCarthy, K. S., Soto, C. M., Gutierrez de Blume, A. P., Palma, D., Gonzalez, J. I., & McNamara, D. S. (2020). Improving reading comprehension in Spanish using iSTART-E: A pilot study. *International Journal of Computer-Assisted Language Learning and Teaching*. <https://doi.org/10.4018/IJCALLT.2020100105>
- McLaren, B. M., Adams, D. M., & Mayer, R. E. (2015). Delayed learning effects with erroneous examples: A study of learning decimals with a web-based tutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0064-x>
- Meaney, P. A., Hokororo, A., Masenge, T., Mwanga, J., Kalabamu, F. S., Berg, M., Rozenfeld, B., Smith, Z., Chami, N., Mkopi, N., Mwanga, C., & Agweyu, A. (2023). Development of pediatric acute care education (PACE): An adaptive electronic learning (e-learning) environment for healthcare providers in Tanzania. *Digital Health*, 9. <https://doi.org/10.1177/20552076231180471>
- Melendez-Armenta, R. A., Huerta-Pacheco, N. S., Morales-Rosales, L. A., & Rebolledo-Mendez,

- G. (2020). How do students behave when using a tutoring system? Employing data mining to identify behavioral patterns associated to the learning of mathematics. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(22).
<https://doi.org/10.3991/ijet.v15i22.17075>
- Moher, D., Shamser, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & Group, P.-P. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Molenaar, I., Horvers, A., & Baker, R. S. (2021). What can moment-by-moment learning curves tell about students' self-regulated learning? *Learning and Instruction*, 72, 101206.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.003>
- Mora, A. P., Pinilla-Arbec, J., & Magan, G. R. (2024). Immersive Sciences: Engaging Young Minds in Natural Sciences through Virtual and Augmented Reality. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*. <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.9.4>
- Noguchi, Y., Kogure, S., Konishi, T., & Itoh, Y. (2015). Practice supporting system with related problem set generator based on targeted educational effects. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 10(1). <https://doi.org/10.1007/s41039-015-0004-2>
- Nygren, E., Blignaut, A. S., Leendertz, V., & Sutinen, E. (2019). Quantitizing affective data as project evaluation on the use of a mathematics mobile game and intelligent tutoring system. *Informatics in Education*, 18(11). <https://doi.org/10.15388/infedu.2019.18>

- Outhwaite, L. A., Gulliford, A., & Pitchford, N. J. (2020). Language counts when learning mathematics with interactive apps. *British Journal of Educational Technology*.
<https://doi.org/10.1111/bjet.12912>
- Padron-Rivera, G., Rebolledo-Mendez, G., Parra, P. P., & Huerta-Pacheco, N. S. (2016). Identification of action units related to affective states in a tutoring system for mathematics. *Educational Technology and Society*.
- Pflaumer, N., Knorr, N., & Berkling, K. (2021). Appropriation of adaptive literacy games into the German elementary school classroom. *British Journal of Educational Technology*, 52(5), 1917-1934. <https://doi.org/10.1111/bjet.13149>
- Rau, M. A., Aleven, V., & Rummel, N. (2017). Supporting students in making sense of connections and in becoming perceptually fluent in making connections among multiple graphical representations. *Journal of Educational Psychology*, 109(25). <https://doi.org/10.1037/edu0000145>
- Rau, M. A., Aleven, V., Rummel, N., & Pardos, Z. (2014). How should intelligent tutoring systems sequence multiple graphical representations of fractions? A multi-methods study. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24.
<https://doi.org/10.1007/s40593-013-0011-7>
- Rizvi, S., Waite, J., & Sentance, S. (2023). Artificial Intelligence teaching and learning in K-12 from 2019 to 2022: A systematic literature review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100145. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100145>

- Rodriguez Malaga, L., Rodriguez Perez, C., & Fidalgo Redondo, R. (2019). Nuevos entornos de aprendizaje para la escritura: Sistemas de tutoria inteligente. *Papeles Del Psicólogo - Psychologist Papers*, 40(2). <https://doi.org/10.23923/pap.psicol2019.2895>
- Rosas, G. A. P., Polo, M. J. A., Hermosilla, A. S., Delgado, A., & Huamani, E. L. (2023). Development of a Web System to Improve and Reinforce Learning in Mathematics in Primary and Secondary Students in Peru. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(5), 6597. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i5s.6597>
- Ruiz, N., Yu, H., Allessio, D. A., Jalal, M., Joshi, A., Murray, T., Magee, J. J., Delgado, K. M., Ablavsky, V., Sclaroff, S., Arroyo, I., Woolf, B. P., Bargal, S. A., & Betke, M. (2023). ATL-BP: A student engagement dataset and model for affect transfer learning for behavior prediction. *IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science*, 5. <https://doi.org/10.1109/TBIOM.2022.3210479>
- Rundquist, R., Holmberg, K., Rack, J., Mohseni, Z., & Masiello, I. (2024). Use of Learning Analytics in K-12 Mathematics Education: Systematic Scoping Review of the Impact on Teaching and Learning. *Journal of Learning Analytics*, 11(3). <https://doi.org/10.18608/jla.2024.8299>
- San Pedro, M. O. Z., Baker, R. S. J. D., & Rodrigo, M. M. T. (2014). Carelessness and affect in an intelligent tutoring system for mathematics. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0015-y>

- Santos, O. C., & Corbi, A. (2019). Can Aikido help with the comprehension of physics? A first step towards the design of intelligent psychomotor systems for STEAM kinesthetic learning scenarios. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2957947>
- Sharma, K., Olsen, J. K., Aleven, V., & Rummel, N. (2021). Measuring causality between collaborative and individual gaze metrics for collaborative problem-solving with intelligent tutoring systems. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37. <https://doi.org/10.1111/jcal.12467>
- Shi, L., Ding, A.-C., & Choi, I. (2024). Investigating teachers' use of an AI-enabled system and their perceptions of AI integration in science classrooms: A case study. *Education Sciences*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/educsci14111187>
- Sihag, P., & Vibha. (2024). Transforming and reforming the Indian education system with artificial intelligence. *Didacticae*, 45, 98-105. <https://doi.org/10.1344/der.2024.45.98-105>
- Snow, E. L., Allen, L. K., Jackson, G. T., & McNamara, D. S. (2015). Spendency: Students' propensity to use system currency. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25(28). <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0044-1>
- Son, T. (2024). Intelligent tutoring systems in mathematics education: A systematic literature review using the Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition model. *Computers*, 13(10), 270. <https://doi.org/10.3390/computers13100270>
- 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 Theory. *European Journal of Education*, 57(4), 584-600. <https://doi.org/10.1111/ejed.12526>
- Spitzer, M. W. H., Bardach, L., Strittmatter, Y., Meyer, J., & Moeller, K. (2024). Evaluating the content structure of intelligent tutor systems—A psychological network analysis. *Computers and Education Open*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100198>
- Spitzer, M. W. H., & Moeller, K. (2023). Performance increases in mathematics during COVID-19 pandemic distance learning in Austria: Evidence from an intelligent tutoring system for mathematics. *Trends in Neuroscience and Education*, 31, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2023.100203>
- Spitzer, M. W. H., Ruiz-Garcia, M., Strittmatter, Y., Richter, E., Gutsfeld, R., & Moeller, K. (2024). Achievements in arithmetic and measurement units predict fraction understanding in an additive and linear manner. *Cognitive Development*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2024.101517>
- Steenbergen-Hu, S., & Cooper, H. (2014). A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on college students' academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 105(4), 970-987. <https://doi.org/10.1037/a0034752>
- Sung, Y.-T., Liao, C.-N., Chang, T.-H., Chen, C.-L., & Chang, K.-E. (2016). The effect of online summary assessment and feedback system on the summary writing on 6th graders: The LSA-based technique. *Computers Education*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.12.003>

UNESCO. (2023). Resumen del informe de seguimiento de la educación en el mundo 2023:

Tecnología en la educación: ¿Una herramienta en los términos de quién?

<https://doi.org/10.54676/BSEH4562>

Uriarte-Portillo, A., Zatarain-Cabada, R., Barron-Estrada, M. L., Ibanez, M. B., & Gonzalez-

Barron, L.-M. (2023). Intelligent augmented reality for learning geometry.

Information, 14(4). <https://doi.org/10.3390/info14040245>

VanLehn, K., Milner, F., Banerjee, C., & Wetzel, J. (2023). A step-based tutoring system to

teach underachieving students how to construct algebraic models. International Journal of

Artificial Intelligence in Education. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00328-3>

VanLehn, K., Zhang, L., Burleson, W., Girard, S., & Hidago-Pontet, Y. (2017). Can a non-

cognitive learning companion increase the effectiveness of a meta-cognitive learning strategy? IEEE Transactions on Learning Technologies, 10.

<https://doi.org/10.1109/TLT.2016.2594775>

Wijekumar, K. K., Meyer, B. J. F., & Lei, P. (2017). Web-based text structure strategy

instruction improves seventh graders' content area reading comprehension. Journal of Educational Psychology, 109(73). <https://doi.org/10.1037/edu0000168>

Wilson, J., Huang, Y., Palermo, C., Beard, G., & MacArthur, C. A. (2021). Automated Feedback

and Automated Scoring in the Elementary Grades: Usage, Attitudes, and Associations

with Writing Outcomes in a Districtwide Implementation of MI Write. International Journal of Artificial Intelligence in Education. [https://doi.org/10.1007/s40593-020-](https://doi.org/10.1007/s40593-020-00236-w)

00236-w

- Yim, I. H. Y., & Su, J. (2025). Artificial intelligence (AI) learning tools in K-12 education: A scoping review. *Journal of Computers in Education*, 12(1), 93-131. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00304-9>
- Zheng, G., Fancsali, S. E., Ritter, S., & Berman, S. R. (2019). Using instruction-embedded formative assessment to predict state summative test scores and achievement levels in mathematics. *Journal of Learning Analytics*, 6(2), 11. <https://doi.org/10.18608/jla.2019.62.11>