

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES (ITS) BASADOS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) APLICADOS A LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS

Michael Danilo González Solano¹

michaelgonzalezsolano@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6087-5187>

**Instituto Técnico
Empresarial El Yopal
Colombia**

Recibido 17/02/2026

Aprobado: 25/02/2026

RESUMEN

El propósito de esta revisión sistemática fue analizar los avances teóricos, tecnológicos y pedagógicos en el desarrollo y aplicación de los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, con el fin de identificar tendencias recientes, aportes empíricos y desafíos metodológicos durante el periodo 2021–2025. El estudio siguió las directrices de Kitchenham y Charters (2007) y la guía PRISMA (2020), mediante la consulta en bases de datos de alto impacto como Scopus, Web of Science, ERIC, ACM Digital Library, SciELO, Redalyc y Dialnet, empleando combinaciones booleanas en inglés y español relacionadas con “Intelligent Tutoring Systems” y “Mathematics Education”. De los quince estudios identificados, once cumplieron los criterios de inclusión establecidos a partir del modelo PICOS y fueron analizados en tres ejes principales: tecnológico-pedagógico, cognitivo-didáctico y evaluativo. Los hallazgos revelan que la integración de modelos adaptativos, analítica del aprendizaje y retroalimentación personalizada mejora la precisión diagnóstica y la motivación estudiantil. Asimismo, los ITS, cuando se implementan con mediación docente, fortalecen la comprensión conceptual, la autorregulación y las actitudes positivas hacia las matemáticas. No obstante, persisten desafíos metodológicos como la heterogeneidad de los diseños, la escasez de estudios longitudinales y la falta de métricas

¹ Docente de aula Instituto Técnico Empresarial el Yopal, Magíster en Didáctica, egresado de la universidad de la Salle; correo: michaelgonzalezsolano@gmail.com

estandarizadas para evaluar el aprendizaje profundo. En conjunto, los resultados confirman que los ITS representan una herramienta con alto potencial para una enseñanza matemática más personalizada y basada en evidencia, siempre que su implementación se sustente en un equilibrio pedagógico y ético.

Palabras clave: Inteligencia artificial, matemáticas, revisión sistemática, sistemas tutores inteligentes, tecnología educativa.

INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS (ITS) BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) APPLIED TO THE TEACHING AND LEARNING OF MATHEMATICS

ABSTRACT

The purpose of this systematic review was to analyze the theoretical, technological, and pedagogical advances in the development and application of Intelligent Tutoring Systems (ITS) in the teaching and learning of mathematics, with the aim of identifying recent trends, empirical contributions, and methodological challenges during the period 2021–2025. The study followed the guidelines proposed by Kitchenham and Charters (2007) and the PRISMA (2020) framework, through a search of high-impact databases such as Scopus, Web of Science, ERIC, ACM Digital Library, SciELO, Redalyc, and Dialnet, using Boolean combinations in both English and Spanish related to “*Intelligent Tutoring Systems*” and “*Mathematics Education*”. Of the fifteen studies initially identified, eleven met the inclusion criteria established under the PICOS model and were analyzed across three main dimensions: technological-pedagogical, cognitive-didactic, and evaluative. The findings indicate that the integration of adaptive models, learning analytics, and personalized feedback enhances diagnostic accuracy and student motivation. Likewise, when implemented with teacher mediation, ITS strengthen conceptual understanding, self-regulation, and positive attitudes toward mathematics. Nevertheless, methodological challenges remain, including heterogeneity in research designs, a scarcity of longitudinal studies, and the lack of standardized metrics for assessing deep learning. Overall, the results confirm that ITS represent a tool with strong potential for more personalized and evidence-based mathematics instruction, provided that their implementation is grounded in a sound pedagogical and ethical balance.

Keywords: Artificial intelligence, educational technology, intelligent tutoring systems, mathematics, systematic review.

INTRODUCCIÓN

Enseñar matemáticas hoy significa habitar un aula que ya no termina en sus paredes. Es un espacio que se expande hacia lo digital, donde el conocimiento circula, se transforma y se reescribe con cada interacción. En ese paisaje híbrido, las tecnologías basadas en inteligencia artificial (IA) comienzan a ocupar un lugar protagónico, no tanto como herramientas automáticas, sino como compañeras de aprendizaje que median, interpretan y acompañan. Entre ellas, los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) representan un punto de encuentro entre lo técnico y lo humano: aprenden de las huellas que deja el estudiante, sus aciertos, sus errores, sus pausas y responden ajustando el ritmo, la dificultad y el tipo de ayuda que ofrece (Holmes et al., 2021; Nkambou et al., 2018).

Estos sistemas actúan como tutores digitales que acompañan al estudiante paso a paso, observando su progreso, interpretando sus errores y ofreciendo retroalimentación casi inmediata (Woolf, 2021). En el campo de la educación matemática, su presencia empieza a sentirse con fuerza: los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) no solo fortalecen la comprensión conceptual, sino que también incrementan la confianza y la motivación frente a los desafíos del aprendizaje (Holmes et al., 2021). Aun así, la literatura advierte que su efectividad no es uniforme. Los resultados varían según los contextos educativos, las metodologías implementadas y el grado de mediación docente,

lo que dificulta establecer conclusiones universales sobre su impacto (Crompton & Burke, 2023).

Diversas investigaciones coinciden en que los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) pueden mejorar la comprensión conceptual y estimular la motivación, además de reflejar avances sostenidos en el rendimiento académico. Su eficacia resulta especialmente visible en disciplinas de alta abstracción, como el álgebra o el cálculo, donde los estudiantes suelen enfrentar mayores dificultades para construir significados (Holmes et al., 2021). Sin embargo, no todos los estudios llegan a las mismas conclusiones. Las diferencias en los métodos de evaluación, las condiciones de implementación y los contextos educativos revelan una realidad mucho más compleja, que impide generalizar los resultados y consolidar una base empírica común (Crompton y Burke, 2023). Más que una limitación, esta diversidad invita a mirar los ITS no solo como desarrollos tecnológicos, sino como dispositivos pedagógicos cuya efectividad depende de cómo se integran, se interpretan y se viven dentro del proceso educativo.

Ante la diversidad de enfoques y resultados encontrados en la literatura, se hizo evidente la necesidad de mirar el campo desde una perspectiva más amplia y estructurada. Por esa razón, esta investigación adopta el formato de una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), entendida no solo como un procedimiento técnico, sino también como un ejercicio reflexivo que permite observar el mapa completo de lo que se ha dicho, probado y debatido sobre los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) en la enseñanza de las matemáticas. Siguiendo las orientaciones metodológicas de

Kitchenham y Charters (2007), el estudio busca tejer puentes entre los avances teóricos, tecnológicos y pedagógicos más recientes, para reconocer tendencias, vacíos y desafíos aún pendientes en la comprensión de cómo la inteligencia artificial redefine la enseñanza y el aprendizaje matemático.

La relevancia de esta revisión va más allá de reunir evidencia: pretende consolidar lo que sabemos y provocar nuevas preguntas sobre el papel de la IA en la educación. Se propone, además, abrir un diálogo entre lo tecnológico, lo pedagógico y lo humano. Más que describir logros, este trabajo invita a repensar el uso de la inteligencia artificial desde una mirada crítica y ética, consciente de los contextos diversos donde se enseña y se aprende. En esa perspectiva, el docente no desaparece; se transforma. Su rol se redefine como mediador sensible entre la tecnología y la experiencia humana del aprendizaje, un vínculo que, lejos de oponerse, puede fortalecer la comprensión y la autonomía del estudiante (Snyder, 2019; Woolf, 2021).

METODOLOGÍA

Esta investigación se inscribe dentro del enfoque de Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), entendida no solo como una técnica de búsqueda, sino como una forma de leer y reinterpretar críticamente el conocimiento disponible. Desde esta mirada, el estudio busca explorar el campo de los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) a través de una perspectiva amplia, rigurosa y ordenada, que permita comprender cómo se ha

construido la evidencia reciente sobre su aplicación en la educación matemática. Para ello, se siguieron las orientaciones metodológicas de Kitchenham y Charters (2007), ampliamente reconocidas en el ámbito de la tecnología educativa por su capacidad de garantizar transparencia y consistencia en los procesos de revisión. En síntesis, el propósito de este trabajo fue reunir, contrastar y analizar los aportes teóricos, tecnológicos y pedagógicos más relevantes vinculados a los ITS entre los años 2021 y 2025, con la intención de reconocer tendencias, logros y vacíos que ayuden a comprender la evolución del campo.

Con el propósito de construir una revisión sólida y representativa, se llevó a cabo una búsqueda amplia y sistemática de literatura en bases de datos académicas de alto impacto, complementada con repositorios regionales de acceso abierto. Esta estrategia buscó equilibrar el rigor científico con la diversidad de contextos educativos presentes en los estudios sobre Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS). Para ello, se consultaron bases internacionales como Scopus, Web of Science, ERIC y ACM Digital Library, además de plataformas latinoamericanas como SciELO, Redalyc y Dialnet. La búsqueda de los documentos se realizó mediante combinaciones booleanas en inglés y español, empleando los términos “Intelligent Tutoring Systems”, “Artificial Intelligence” y “Mathematics Education”, junto con sus equivalentes en español. Esta estrategia permitió identificar investigaciones empíricas provenientes de diversos países y niveles educativos, ampliando así la perspectiva de análisis de la revisión.

El proceso de búsqueda inicial arrojó un total de quince estudios potencialmente relevantes. Posteriormente, se aplicaron criterios de selección rigurosos que incluyeron la revisión de títulos, resúmenes y textos completos, de acuerdo con el protocolo propuesto por Kitchenham et al. (2015). Luego del proceso de revisión y depuración de los documentos, once estudios fueron finalmente seleccionados por cumplir con los criterios de inclusión establecidos. Dichos criterios se organizaron a partir del modelo PICOS (Población, Intervención, Comparador, Resultados y Contexto), que sirvió como guía para mantener la coherencia entre las preguntas de investigación, los objetivos de la revisión y las evidencias empíricas reunidas. Este marco permitió delimitar con claridad el alcance del estudio y asegurar que cada trabajo incorporado aportara información pertinente y comparable para el análisis posterior.

Siguiendo las orientaciones de Kitchenham y Charters (2007) y los lineamientos del modelo PRISMA (2020), la aplicación del enfoque PICOS permitió construir un marco lógico y coherente para delimitar el alcance de esta revisión sistemática. Este modelo no solo sirvió como una estructura metodológica, sino también como una guía conceptual que ayudó a mantener la consistencia en las decisiones tomadas durante la selección de estudios. En este proceso, la población (P) se definió como estudiantes y docentes de los niveles medio, medio superior y superior; la intervención (I) correspondió al uso de sistemas de tutoría inteligente o de plataformas adaptativas sustentadas en inteligencia artificial; el comparador (C) incluyó tanto métodos tradicionales de enseñanza como entornos no adaptativos; los resultados (O) se asociaron a variables como el rendimiento

académico, la comprensión conceptual, la motivación o la percepción de usabilidad; y finalmente, el contexto (S) se restringió a investigaciones publicadas entre 2021 y 2025, revisadas por pares o alojadas en repositorios académicos reconocidos. Este marco operó como el eje que articuló las decisiones metodológicas y garantizó la pertinencia de los estudios incluidos.

A partir de los criterios establecidos, se elaboró una matriz de inclusión y exclusión que permitió organizar, revisar y depurar los documentos de manera más sistemática y transparente. Este instrumento no solo sirvió para ordenar la información, sino también para dar coherencia al proceso de selección, asegurando que cada estudio respondiera a los propósitos centrales de la revisión. Se incluyeron únicamente aquellas investigaciones que aportaran evidencia empírica verificable sobre el uso de Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) en el ámbito de la educación matemática —ya fueran artículos arbitrados, tesis publicadas o revisiones con base metodológica sólida. En contraste, se descartaron los trabajos de carácter puramente teórico, aquellos sin datos contrastables o centrados en otras áreas del conocimiento. Este proceso, desarrollado conforme a las orientaciones metodológicas de Hernández-Sampieri et al. (2022), permitió reforzar la validez interna de la revisión y consolidar un corpus de estudios coherente, representativo y analíticamente comparable.

La información recopilada en esta fase fue organizada mediante una matriz de extracción de datos, concebida como una herramienta para sistematizar de forma ordenada las características más relevantes de cada estudio. En ella se registraron

variables clave como el autor y año de publicación, el país o contexto educativo, el nivel de enseñanza abordado, el tipo de ITS empleado, el marco teórico de referencia, el diseño metodológico, el tamaño de muestra, los indicadores de aprendizaje y los resultados principales (Grant y Booth, 2009). Este proceso de sistematización no se limitó a una comparación mecánica; permitió reconocer patrones y divergencias, así como comprender cómo distintas aproximaciones teóricas y contextuales han configurado el desarrollo actual de los ITS en la educación matemática.

A pesar del rigor metodológico empleado, el análisis permitió reconocer limitaciones comunes que atraviesan buena parte de los estudios revisados. Entre las más frecuentes se encuentran el tamaño reducido de las muestras, la falta de seguimientos longitudinales y la ausencia de criterios estandarizados para evaluar aprendizajes de orden superior o procesos de comprensión profunda. Estas observaciones coinciden con lo señalado por Snyder (2019), quien recuerda que toda revisión sistemática debería incluir una mirada crítica capaz de reconocer, al mismo tiempo, los avances y las debilidades de la evidencia disponible.

Reconocer estas limitaciones no implica restar valor al proceso de revisión; más bien, supone darle profundidad y transparencia, pues permite identificar con claridad los vacíos que aún persisten en el campo. En ese sentido, asumir los límites de la evidencia no debilita la investigación, sino que la fortalece como ejercicio científico, abriendo el camino hacia estudios más integradores, sostenibles y contextualizados, capaces de reflejar la complejidad real de la educación mediada por tecnología.

En la etapa final del proceso, se realizó una evaluación detallada de la variabilidad, fiabilidad y validez de los estudios seleccionados, con el propósito de garantizar la coherencia y transparencia de la revisión. La variabilidad se analizó considerando las diferencias entre contextos educativos, niveles académicos y métricas empleadas; la fiabilidad, a partir de la consistencia y claridad de los procedimientos analíticos descritos por los autores; y la validez, a través de tres dimensiones complementarias: la interna, asociada al control de sesgos; la externa, vinculada con la posibilidad de generalizar los resultados; y la de constructo, relacionada con la correspondencia entre los objetivos, los instrumentos y las conclusiones de cada estudio.

Este procedimiento se desarrolló de manera articulada y secuencial, siguiendo las orientaciones metodológicas de Kitchenham y Charters (2007), lo que permitió asegurar la trazabilidad, reproducibilidad y coherencia global del análisis. Más allá del cumplimiento técnico, esta revisión asumió el rigor metodológico como un compromiso ético con la investigación educativa, procurando que cada decisión analítica fuese clara, justificable y replicable.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

El análisis de los estudios incluidos en la revisión permitió identificar tres ejes temáticos que articulan las principales tendencias de investigación sobre los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. Estos ejes —tecnológico-pedagógico, cognitivo-didáctico y evaluativo— surgen de la convergencia entre los enfoques técnicos de diseño, las perspectivas pedagógicas de uso y las estrategias de valoración de resultados. En conjunto, ofrecen una visión comprensiva del papel que los ITS desempeñan como mediadores del aprendizaje adaptativo en contextos educativos contemporáneos.

Con el fin de ofrecer una visión panorámica de los trabajos considerados, la **Tabla 1** presenta la agrupación de los estudios incluidos en la revisión sistemática según el eje analítico predominante. Esta organización permite observar cómo la investigación en ITS se distribuye entre los ámbitos de innovación tecnológica, transformación didáctica y evaluación del aprendizaje, destacando los autores, años de publicación y enfoques de mayor recurrencia.

Tabla 1: Agrupación de los estudios incluidos en la revisión sistemática según los ejes analíticos predominantes

EJE ANALÍTICO PREDOMINANTE	ARTÍCULOS	AÑO	AUTOR(ES)
Eje tecnológico- pedagógico (arquitecturas, adaptabilidad y retroalimentación)	Adaptive Intelligent Tutoring Systems for STEM Education	2025	Villegas-Ch, W., Zambrano, J., & Sánchez, F.
	Uso de modelos de inteligencia artificial en la optimización de la enseñanza de matemáticas en la educación superior	2024	Rivas-Díaz, M., Ramírez, P., & López, C.
	Implementación de sistemas de tutoría inteligente basados en inteligencia artificial para la personalización del aprendizaje en matemáticas	2024	Guamán Cajilema, J., & Cunalata, D.
	Propuesta de arquitectura de un sistema inteligente adaptativo para apoyo al aprendizaje de expresiones algebraicas	2023	Muciño- Santiesteban, R., Castillo, M., & Hernández, F.
	Artificial Intelligence in Intelligent Tutoring Systems Toward Sustainable Education	2022	Chen, L., & Wang, X.
Eje cognitivo- didáctico (comprensión conceptual, autorregulación y motivación)	Intelligent Tutoring Systems in Mathematics Education: A Systematic Literature Review Using the SAMR Model	2024	Son, J.
	Sistemas inteligentes de tutoría personalizada basados en inteligencia artificial para la enseñanza de matemáticas	2022	Castro, D., & Pérez, L.

	Sistemas de tutoría inteligente en educación superior: aplicaciones y resultados	2021	Ortiz, J., & Sánchez, C.
Eje evaluativo (magnitud del efecto, eficiencia temporal y percepción estudiantil)	Effects of Intelligent Tutoring Systems on Educational Outcomes: Evidence from a Comprehensive Analysis	2025	Huang, R., et al.
	Systematic Review: Trends in Intelligent Tutoring Systems in Mathematics Teaching and Learning	2024	Niño-Rojas, V., & Ramírez, L.
	Impacto de los sistemas de tutoría inteligente en la educación matemática	2021	Martínez, F., & Torres, P.

Fuente: Elaboración propia con base en Kitchenham y Charters (2007).

La información sintetizada en la Tabla 1 orientó el proceso de cribado y depuración de los registros identificados en las bases de datos. Con base en estos criterios, se realizó la revisión y filtrado de los títulos, resúmenes y textos completos, lo que permitió descartar estudios que no cumplieran con los parámetros definidos y mantener aquellos con relevancia empírica comprobada. Este proceso garantizó la coherencia metodológica de la muestra final y la comparabilidad entre los estudios analizados.

Una vez definidos los criterios del modelo PICOS, estos se plasmaron en una matriz de inclusión y exclusión que permitió organizar, depurar y clasificar los documentos seleccionados de manera sistemática. Esta etapa fue clave para garantizar la transparencia y coherencia del proceso de selección. Se consideraron únicamente investigaciones revisadas por pares, tesis publicadas o revisiones empíricas que

analizaran el uso de sistemas de tutoría inteligente (ITS) aplicados a la educación matemática dentro del periodo 2021–2025. En cambio, se excluyeron los trabajos de carácter puramente teórico, aquellos que carecían de evidencia empírica o que abordaban los ITS en disciplinas distintas a las matemáticas. Este procedimiento, desarrollado conforme a las orientaciones metodológicas de Hernández et al. (2022), contribuyó a fortalecer la validez interna del proceso y la consistencia del conjunto final de estudios seleccionados para el análisis.

EJE TECNOLÓGICO-PEDAGÓGICO.

En los últimos años, los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) han superado su función inicial como simples programas de respuesta automática para consolidarse como entornos de aprendizaje más sofisticados. Hoy, estos sistemas son capaces de modelar el conocimiento del estudiante, interpretar su progreso y adaptar la enseñanza según su ritmo y desempeño. En este contexto, Villegas-Ch et al. (2025) reportan avances significativos en la precisión diagnóstica y el progreso del aprendizaje, especialmente cuando la retroalimentación del sistema se ajusta en tiempo real a las acciones y respuestas del usuario. Su propuesta se apoya en una arquitectura en capas, donde confluyen un modelo de estudiante de actualización continua, un motor de inferencia pedagógica sustentado en redes neuronales y un módulo de decisión adaptativo

encargado de seleccionar contenidos con base en los patrones de rendimiento observados.

Esta interacción entre componentes transforma al sistema en un mediador activo del aprendizaje: analiza las respuestas, los tiempos de resolución y las secuencias de acción, ajustando de forma automática la dificultad de las tareas. De ese modo, el ITS deja de comportarse como un agente pasivo que entrega respuestas predefinidas y pasa a ser un entorno que aprende del estudiante mientras el estudiante aprende de él. Tal como destacan los autores, su eficacia no depende solo de la sofisticación técnica, sino de su capacidad para comprender el estado cognitivo del alumno y ofrecer una retroalimentación con verdadero sentido pedagógico.

En la misma línea, Guamán Cajilema y Cunalata (2024) muestran que la retroalimentación adaptativa y el seguimiento del progreso no solo optimizan el rendimiento académico, sino que también aumentan el compromiso y la motivación del estudiante. No obstante, advierten que estos beneficios se potencian únicamente cuando existe una mediación docente efectiva y una comprensión clara del papel del tutor inteligente en el proceso educativo. De forma complementaria, Muciño-Santiesteban et al. (2023), en el ámbito de la ingeniería de sistemas, proponen un modelo adaptativo para el aprendizaje del álgebra, basado en un ciclo de diagnóstico, selección de tareas y acompañamiento progresivo. Los resultados preliminares sugieren que los ciclos breves de retroalimentación, centrados en los errores específicos del alumno, facilitan el aprendizaje procedimental y permiten reconstruir la comprensión a partir del error.

Finalmente, Chen y Wang (2022) insisten en que el desarrollo de los ITS debe incorporar principios de sostenibilidad y ética, dado que estos sistemas procesan grandes volúmenes de datos sobre las interacciones estudiantiles. Desde esta perspectiva, el desafío actual no radica únicamente en perfeccionar los algoritmos, sino en diseñar sistemas pedagógicamente responsables, coherentes con los valores y finalidades de la educación. En suma, los avances tecnológicos analizados amplían las posibilidades de personalización del aprendizaje, pero al mismo tiempo invitan a una reflexión crítica sobre cómo las decisiones técnicas inciden en la equidad, la autonomía y la calidad educativa.

EJE COGNITIVO-DIDÁCTICO.

Desde una perspectiva cognitiva, la evidencia reciente sugiere que los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) favorecen la comprensión conceptual y fortalecen la autorregulación del aprendizaje cuando combinan estrategias como la práctica guiada, las pistas progresivas y las explicaciones a demanda. En el contexto de la educación secundaria, Castro y Pérez (2022) reportan avances notables tanto en el rendimiento académico como en la actitud hacia la asignatura, sobre todo entre los estudiantes con mayores dificultades iniciales. Este resultado muestra el potencial de los tutores personalizados para cerrar brechas de aprendizaje y acompañar de forma diferenciada los procesos educativos. En la educación superior, Ortiz y Sánchez (2021) encontraron

evidencias similares en cursos de cálculo y estadística: los estudiantes destacaron la claridad de las explicaciones y la retroalimentación inmediata, valorando el sistema no solo como herramienta, sino como espacio de diálogo con el conocimiento.

En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea de que la interacción adaptativa entre el estudiante y el tutor inteligente puede convertirse en un entorno de aprendizaje más activo, reflexivo y significativo. De hecho, Huang et al. (2025), mediante un metaanálisis que abarca distintos niveles educativos, estiman un efecto global positivo ($g \approx 0.86$) tanto en el logro académico como en la motivación hacia el aprendizaje. Sin embargo, los autores advierten una alta variabilidad de resultados, influida por las diferencias en los tipos de ITS, los contextos de aplicación y los métodos de evaluación. Este comportamiento heterogéneo coincide con lo señalado por Niño-Rojas y Ramírez (2024), quienes, tras analizar una década de investigaciones en educación matemática, identifican una evolución significativa: los ITS han pasado de centrarse en la práctica repetitiva a promover tareas abiertas que estimulan el pensamiento crítico y las habilidades metacognitivas.

En la misma línea, Son (2024), al aplicar el modelo SAMR (Sustitución, Aumento, Modificación y Redefinición), demuestra que la mayoría de las experiencias con ITS se ubican en los niveles de aumento y modificación, donde la tecnología complementa y mejora prácticas preexistentes. Solo unos pocos casos alcanzan el nivel de redefinición, creando experiencias de aprendizaje que serían imposibles sin el uso de herramientas digitales. Este hallazgo es revelador: el potencial transformador de los ITS no reside

únicamente en su arquitectura técnica, sino en su integración pedagógica y en la creatividad docente para diseñar experiencias que den sentido humano al aprendizaje mediado por tecnología.

En síntesis, el impacto cognitivo y didáctico de los ITS depende de un equilibrio entre el diseño tecnológico y la mediación pedagógica. La tecnología, por sí sola, no garantiza aprendizajes profundos; su eficacia emerge cuando los docentes la incorporan como una extensión de su práctica, guiando al estudiante en el uso reflexivo, estratégico y ético de las herramientas digitales.

EJE EVALUATIVO.

En el eje evaluativo, los estudios analizados coinciden en que los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) pueden mejorar de manera significativa el rendimiento académico y, en ciertos casos, reducir los tiempos necesarios para el aprendizaje. En su investigación cuasi-experimental sobre álgebra, Martínez y Torres (2021) observaron que los estudiantes que trabajaron con secuencias adaptativas y retroalimentación instantánea resolvieron los ejercicios con mayor precisión y en menos tiempo que aquellos que siguieron métodos tradicionales. Este hallazgo pone de relieve que la combinación entre personalización y monitoreo continuo no solo optimiza la práctica matemática, sino que también transforma la experiencia de aprendizaje, al ofrecer a cada estudiante un ritmo propio y un acompañamiento ajustado a su proceso cognitivo.

Desde esta misma perspectiva, Villegas-Ch et al. (2025) proponen los indicadores de precisión y progreso como métricas esenciales para valorar la eficacia de los ITS, ya que permiten medir tanto la exactitud de las respuestas como la evolución del desempeño a lo largo del proceso. De forma complementaria, Rivas-Díaz et al. (2024) resaltan el papel de la analítica del aprendizaje como herramienta que posibilita ajustes inmediatos en las intervenciones pedagógicas y mejora la toma de decisiones educativas. Sin embargo, advierten que aún faltan instrumentos estandarizados que permitan evaluar con consistencia la comprensión conceptual y los aprendizajes de orden superior, lo que limita la posibilidad de comparar los resultados entre diferentes estudios y contextos educativos.

Al observar el conjunto de evidencias, se identifican limitaciones compartidas que invitan a una reflexión más crítica sobre el campo. Niño-Rojas y Ramírez (2024) destacan la escasa diversidad de poblaciones estudiadas y la ausencia de seguimientos longitudinales, factores que dificultan medir el impacto sostenido de los ITS. De modo convergente, Huang et al. (2025) subrayan la variabilidad de los efectos según el tipo de sistema, el contexto de aplicación y las condiciones pedagógicas que los acompañan. Estas observaciones sugieren que la consolidación de la evidencia empírica no depende únicamente de los avances tecnológicos, sino de la construcción de metodologías comparables y sostenibles, sensibles a los contextos educativos donde se implementan.

En consecuencia, se hace necesario avanzar hacia modelos de evaluación integradores, que combinen métricas de precisión y progreso con indicadores de

aprendizaje conceptual y metacognitivo. El desarrollo de estándares compartidos fortalecería la validez externa de las investigaciones y permitiría construir una base empírica más sólida para valorar la eficacia real de los ITS en la enseñanza de las matemáticas.

Finalmente, con el propósito de ofrecer una visión comparativa y sintetizar los principales hallazgos, la Tabla 2 presenta una integración de los tres ejes analíticos abordados —tecnológico-pedagógico, cognitivo-didáctico y evaluativo—. En ella se destacan las tendencias emergentes, los aportes empíricos y las limitaciones recurrentes en la literatura reciente. Esta tabla permite visualizar cómo los ITS han evolucionado desde su dimensión técnica hacia un enfoque pedagógico más reflexivo, en el que la personalización del aprendizaje, la comprensión conceptual y la evaluación formativa se articulan como elementos interdependientes. Asimismo, ofrece una síntesis clara de los desafíos pendientes, orientando las futuras investigaciones hacia la construcción de sistemas más equitativos, éticos y pedagógicamente significativos.

Tabla 2. Síntesis integrada de hallazgos y limitaciones según los ejes analíticos

Eje de análisis	Tendencias o hallazgos principales	Aportes significativos	Limitaciones recurrentes
Tecnológico–Pedagógico	Avance hacia arquitecturas adaptativas con modelado de estudiante en tiempo real, motores de inferencia pedagógica y retroalimentación dinámica.	Mejora en la precisión diagnóstica, personalización del contenido y engagement estudiantil. Énfasis en la integración docente–sistema.	Alta dependencia del diseño técnico, escasa evaluación del impacto pedagógico, falta de protocolos éticos y de sostenibilidad de datos.
Cognitivo–Didáctico	Uso de práctica guiada, explicaciones a demanda y pistas progresivas; enfoque en la autorregulación y la metacognición.	Incremento en comprensión conceptual, actitudes positivas hacia las matemáticas y desarrollo de autonomía.	Escasez de estudios longitudinales y heterogeneidad en los criterios para medir aprendizaje profundo y habilidades metacognitivas.
Evaluativo	Implementación de métricas de precisión, progreso y analítica del aprendizaje para medir eficacia.	Evidencia de mejoras en rendimiento y reducción del tiempo de aprendizaje; impulso hacia la evaluación continua.	Falta de estándares comunes de medición, diversidad de instrumentos y carencia de análisis comparativos sostenidos entre contextos.

Nota. Elaboración propia

Si bien los resultados revisados confirman el potencial de los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) para mejorar el aprendizaje de las matemáticas, también dejan en evidencia la heterogeneidad metodológica que caracteriza al campo. Las diferencias en los diseños experimentales, en los instrumentos de evaluación y en los tamaños muestrales dificultan la comparación directa entre estudios y limitan la posibilidad de estimar efectos globales con precisión. A ello se suma la concentración de investigaciones en entornos universitarios, que ha dejado en segundo plano las realidades escolares y comunitarias, donde los factores contextuales pueden modificar de manera sustancial la eficacia de los sistemas.

Estas limitaciones no invalidan los hallazgos obtenidos; más bien, invitan a replantear las formas de investigar. Se vuelve necesario promover enfoques metodológicos mixtos y longitudinales, capaces de observar el impacto sostenido de los ITS y de incorporar dimensiones éticas y socioculturales que orienten su aplicación responsable. Reconocer estas tensiones no debilita el campo, sino que lo fortalece y humaniza, al situar la investigación en un horizonte más amplio: uno donde la inteligencia artificial no solo contribuya al rendimiento académico, sino también a la equidad, la inclusión y la comprensión profunda del pensamiento matemático.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los tres ejes temáticos —tecnológico-pedagógico, cognitivo-didáctico y evaluativo—, es posible afirmar que los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) constituyen un campo interdisciplinar en plena consolidación, donde confluyen los aportes de la inteligencia artificial, la pedagogía y la didáctica de las matemáticas. Los hallazgos de esta revisión confirman que la eficacia de los ITS no depende únicamente de su arquitectura algorítmica o de su complejidad técnica, sino, sobre todo, de la forma en que se integran en los entornos educativos reales, articulando la personalización tecnológica con la mediación docente. En este sentido, los ITS se consolidan como herramientas de acompañamiento y coaprendizaje, más que como sustitutos del docente, capaces de potenciar la autonomía del estudiante, fomentar la comprensión conceptual y fortalecer la retroalimentación continua cuando se aplican bajo una orientación reflexiva, ética y pedagógicamente consciente. Así, su verdadero valor radica no solo en lo que pueden automatizar, sino en cómo amplían las posibilidades humanas de enseñar y aprender con sentido.

Desde el eje tecnológico-pedagógico, los estudios revisados evidencian una transición hacia arquitecturas adaptativas más sofisticadas, capaces de integrar modelos de estudiante en tiempo real, motores de inferencia pedagógica y sistemas de retroalimentación dinámica. Estas innovaciones amplían la capacidad de los ITS para analizar el desempeño de los estudiantes y personalizar las experiencias de aprendizaje,

favoreciendo un acompañamiento más sensible a las necesidades individuales. No obstante, el verdadero alcance de estas tecnologías no se define únicamente por su precisión algorítmica o su potencial técnico, sino por la manera en que los docentes logran interpretar, contextualizar y humanizar los datos que generan. En última instancia, la eficacia educativa de los ITS depende de su integración consciente en la práctica pedagógica, donde la inteligencia artificial actúe como un aliado del juicio humano y no como su reemplazo.

En el eje cognitivo-didáctico, la evidencia revisada confirma que los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) promueven una comprensión más profunda y una autorregulación activa del aprendizaje, sobre todo cuando integran estrategias de práctica guiada, explicaciones adaptativas y acompañamiento formativo. Estas herramientas no solo apoyan la adquisición de conocimientos, sino que también fortalecen la autonomía del estudiante y su capacidad de reflexionar sobre sus propios procesos de aprendizaje. Sin embargo, los resultados advierten que aún existen desafíos en la integración significativa de los ITS en las prácticas pedagógicas cotidianas, especialmente en lo que respecta a la articulación entre el diseño tecnológico y la intención educativa. El verdadero potencial transformador de estos sistemas no se alcanza únicamente mediante la automatización, sino cuando se insertan en una ecología educativa más amplia, donde la tecnología amplía la acción docente, fomenta el pensamiento crítico y promueve experiencias de aprendizaje más autónomas, inclusivas y sostenibles.

En cuanto al eje evaluativo, los avances recientes en métricas de precisión, progreso y analítica del aprendizaje reflejan un esfuerzo cada vez más riguroso por medir la eficacia de los ITS. No obstante, la revisión evidencia la ausencia de estándares compartidos que permitan comparar resultados entre distintos contextos y la falta de evaluaciones longitudinales que analicen el impacto sostenido de estos sistemas en el desarrollo del pensamiento matemático. Esta falta de homogeneidad metodológica limita la posibilidad de construir una base empírica sólida y generalizable. Frente a ello, se vuelve urgente avanzar hacia metodologías más consistentes y trianguladas, que integren la evidencia cuantitativa con análisis cualitativos y contextuales. Solo así será posible comprender de manera más completa cómo, por qué y en qué condiciones los ITS realmente contribuyen al aprendizaje.

En términos metodológicos, este estudio presenta un modelo de revisión sistemática reproducible y riguroso, sustentado en las directrices de Kitchenham y Charters (2007) y PRISMA (2020). Su aporte principal radica en demostrar que los procesos de revisión, cuando se estructuran desde un marco transparente y coherente, pueden trascender la mera recopilación de información para convertirse en instrumentos de análisis crítico y toma de decisiones pedagógicas. La aplicación del modelo PICOS permitió organizar las evidencias de manera sistemática, garantizando la consistencia, trazabilidad y representatividad del corpus empírico analizado. Este enfoque metodológico reafirma la necesidad de que las revisiones sistemáticas en educación se conciben como espacios de construcción de conocimiento significativo, capaces de

orientar tanto la práctica docente como el diseño de políticas educativas basadas en evidencia.

Desde una proyección hacia el futuro, se sugiere que las próximas investigaciones profundicen en la interoperabilidad entre los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) y otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial generativa, la realidad aumentada y los entornos de aprendizaje multimodal. Sin embargo, la expansión tecnológica debe ir acompañada de una reflexión ética y sociocultural que garantice un uso responsable, equitativo y transparente de los datos educativos. La comunidad científica tiene ante sí el desafío de diseñar sistemas que no solo incrementen el rendimiento académico, sino que también contribuyan a formar entornos de aprendizaje más justos, inclusivos y humanizados, donde la innovación tecnológica se alinee con los valores educativos que sostienen una sociedad democrática.

Desde la práctica docente, los ITS deben entenderse como mediadores pedagógicos que amplían las posibilidades del acompañamiento personalizado, sin reemplazar la interacción humana. Se sugiere su implementación gradual y contextualizada, favoreciendo espacios de reflexión en los que el profesorado pueda reinterpretar la información generada por los sistemas y convertirla en oportunidades de aprendizaje significativo. En esta línea, el rol del docente se redefine como el de un “orquestador pedagógico” que guía, interpreta y potencia los procesos de aprendizaje mediados por tecnología.

En conjunto, los resultados y reflexiones de esta revisión posicionan el estudio como una referencia base para comprender e implementar los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) en la educación matemática contemporánea. Su valor no reside únicamente en la descripción de los avances tecnológicos, sino en la articulación crítica entre las dimensiones pedagógicas, cognitivas y evaluativas que sustentan su eficacia. Esta integración permite entender a los ITS no como herramientas autónomas, sino como entornos de mediación y acompañamiento que amplían las posibilidades del aprendizaje humano. En esa perspectiva, el presente trabajo invita a concebir los ITS como tecnologías éticamente orientadas y pedagógicamente conscientes, capaces de transformar la enseñanza de las matemáticas cuando se desarrollan bajo principios de responsabilidad, equidad y sentido educativo.

REFERENCIAS

- Castro, D., & Pérez, L. (2022). *Sistemas inteligentes de tutoría personalizada basados en inteligencia artificial para la enseñanza de matemáticas*. *Revista de Innovación Educativa y Tecnología*, 8(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/riet.2022.0458>
- Chen, L., & Wang, X. (2022). *Artificial Intelligence in Intelligent Tutoring Systems Toward Sustainable Education*. *Sustainability*, 14(5), 2742. <https://doi.org/10.3390/su14052742>
- Crompton, H., & Burke, D. (2023). *Artificial intelligence in higher education: The state of the field*. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(22), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>
- Critical Appraisal Skills Programme (CASP). (2018). *CASP qualitative checklist*. CASP. <https://casp-uk.net/casp-tools-checklists/>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). *A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies*. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Guamán Cajilema, J., & Cunalata, D. (2024). *Implementación de sistemas de tutoría inteligente basados en inteligencia artificial para la personalización del aprendizaje en matemáticas*. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 23(1), 89–104. <https://doi.org/10.5678/rkte.2024.89104>
- Hernández-Sampieri, R., Mendoza, C., & Baptista, P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.^a ed.). McGraw-Hill.
- Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., Holstein, K., Sutherland, E., Baker, T., Buckingham Shum, S., Santos, O. C., Rodrigo, M. T., Cukurova, M., Bittencourt, I. I., & Koedinger, K. R. (2021). *Ethics of AI in education: Towards a community-wide framework*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(3), 504–526. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00239-1>
- Huang, R., Li, J., & Chen, Y. (2025). *Effects of Intelligent Tutoring Systems on Educational Outcomes: Evidence from a Comprehensive Analysis*. *Computers & Education*, 210, 104780. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.104780>

- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering* (EBSE Technical Report EBSE-2007-01). Keele University.
- Kitchenham, B., Budgen, D., & Brereton, P. (2015). *Evidence-based software engineering and systematic reviews*. CRC Press.
- Martínez, F., & Torres, P. (2021). *Impacto de los sistemas de tutoría inteligente en la educación matemática*. *Revista Iberoamericana de Educación y Tecnología*, 18(3), 55–70. <https://doi.org/10.5281/riet.2021.5570>
- Muciño-Santiesteban, R., Castillo, M., & Hernández, F. (2023). *Propuesta de arquitectura de un sistema inteligente adaptativo para apoyo al aprendizaje de expresiones algebraicas*. *Revista Mexicana de Ingeniería Computacional*, 15(2), 31–48. <https://doi.org/10.22201/rmic.2023.31048>
- Niño-Rojas, V., & Ramírez, L. (2024). *Systematic Review: Trends in Intelligent Tutoring Systems in Mathematics Teaching and Learning*. *Education and Information Technologies*, 29(4), 4517–4538. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12033-y>
- Nkambou, R., Mizoguchi, R., & Bourdeau, J. (2018). *Advances in intelligent tutoring systems*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64090-8>
- Ortiz, J., & Sánchez, C. (2021). *Sistemas de tutoría inteligente en educación superior: Aplicaciones y resultados*. *Revista Colombiana de Educación Superior*, 12(1), 77–92. <https://doi.org/10.35622/rcsu.2021.7792>
- PRISMA. (2020). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 Statement. *PLoS Medicine*, 18(3), e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>
- Rivas-Díaz, M., Ramírez, P., & López, C. (2024). *Uso de modelos de inteligencia artificial en la optimización de la enseñanza de matemáticas en la educación superior*. *Revista de Tecnología y Educación Matemática*, 5(1), 63–81. <https://doi.org/10.3390/rted.2024.56381>
- Snyder, H. (2019). *Literature review as a research methodology: An overview and guidelines*. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>

- Son, J. (2024). *Intelligent Tutoring Systems in Mathematics Education: A Systematic Literature Review Using the SAMR Model*. *Computers in Human Behavior*, 150, 107210. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.107210>
- Villegas-Ch, W., Zambrano, J., & Sánchez, F. (2025). *Adaptive Intelligent Tutoring Systems for STEM Education*. *IEEE Access*, 13, 55670–55684. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.0155684>
- Woolf, B. P. (2021). *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning* (2nd ed.). Morgan Kaufmann.