

Comprensión matemática en la era de la inteligencia artificial: riesgos y reconfiguración de la competencia matemática

Mathematical understanding in the age of artificial intelligence: risks and reconfiguration of mathematical competence

Fernando José Hernández Gómez

Keiser University - Latin American Campus, Managua, Nicaragua.

<https://orcid.org/0000-0002-5132-2769>

matematicas527@gmail.com

Cliffor Jerry Herrera Castrillo

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

<https://orcid.org/0000-0002-7663-2499>

cliffor.herrera@unan.edu.ni

Teresa Hernández Castillo

Universidad Nacional Héroes San José de las Mulas, Managua, Nicaragua.

<https://orcid.org/0009-0003-0233-5154>

thernandez03@docente.unp.edu.ni

Corresponding author: cliffor.herrera@unan.edu.ni

Citar como: Hernández Gómez, F. J., Herrera Castrillo, C. J., & Hernández Castillo, T. (2026). Comprensión matemática en la era de la inteligencia artificial: riesgos y reconfiguración de la competencia matemática. *International Journal of Innovation and Pedagogy*, 3(2), 57. <https://doi.org/10.64325/IJIP.v3i2.57>

Recibido: 25-06-2026

Aceptado: 13-07-2026

Publicado: 24-08-2026

Editor: Mgtr. Daniel Roman-Acosta PhD. (c)

Copyright: © 2026 Hernández Gómez, F. J., Herrera Castrillo, C. J., & Hernández Castillo, T. (2026). Comprensión matemática en la era de la inteligencia artificial: riesgos y reconfiguración de la competencia matemática. *International Journal of Innovation and Pedagogy*, 3(2), 57. <https://doi.org/10.64325/IJIP.v3i2.57> 

ABSTRACT

This article presents a theoretical-critical narrative review, supported by a structured literature search, of the epistemological implications of Generative Artificial Intelligence (GAI) in mathematics education. The synthesis included 35 sources: 22 theoretical and foundational contributions and 13 recent studies or reviews on AI and learning. It argues that the availability of systems capable of producing plausible solutions, proofs, and explanations weakens the equivalence between a correct answer and genuine understanding. The notion of epistemic risk has precedents in philosophy of science; the specific contribution of this paper is to adapt it to mathematics education as a condition in which students obtain formally valid products while delegating reasoning, validation, and metacognitive regulation. Mathematical competence is reconceptualized as an integrated system of reasoning, modeling, judgment, and critical validation, organized around epistemic agency. Such agency becomes observable when learners justify decisions, make assumptions explicit, contrast sources, detect inconsistencies in AI-generated responses, and autonomously reformulate solutions. Finally, implications are derived for task design, teacher mediation, and the assessment of mathematical judgment.

Keywords: Mathematics education; AI in education; generative artificial intelligence; epistemological risk; epistemic agency.

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión narrativa teórico-crítica, apoyada en una búsqueda bibliográfica estructurada, sobre las implicaciones epistemológicas de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en la educación matemática. La síntesis integró 35 fuentes: 22 aportes teórico-fundacionales y 13 estudios o revisiones recientes sobre IA y aprendizaje. Se argumenta que la disponibilidad de sistemas capaces de producir soluciones, demostraciones y explicaciones plausibles debilita la equivalencia entre respuesta correcta y comprensión genuina. El término riesgo epistémico posee antecedentes en la filosofía de la ciencia; la contribución específica del trabajo consiste en adaptarlo al campo didáctico como condición en la que el estudiante obtiene productos formalmente válidos mientras delega procesos de razonamiento, validación y regulación metacognitiva. Se propone reconfigurar la competencia matemática como un sistema integrado de razonamiento, modelación, juicio y validación crítica, articulado por la agencia epistémica. Esta puede reconocerse cuando el estudiante justifica decisiones, explicita supuestos, contrasta fuentes, detecta inconsistencias en respuestas generadas por IA y reformula soluciones con autonomía. Finalmente, se derivan implicaciones para el diseño de tareas, la mediación docente y la evaluación del juicio matemático.

Palabras clave: Educación matemática; IA en educación; inteligencia artificial generativa; riesgo epistemológico; agencia epistémica.

INTRODUCCIÓN

La expansión de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) está modificando de manera significativa las condiciones de producción, comunicación y evaluación del conocimiento matemático. Los sistemas basados en grandes modelos de lenguaje pueden generar procedimientos, ejemplos, demostraciones y explicaciones con elevada plausibilidad discursiva; al mismo tiempo, su desempeño es variable, puede contener errores y depende de las condiciones de interacción y del diseño pedagógico (Kasneci et al., 2023; Lo, 2023; Taani & Alabidi, 2024; Yan et al., 2024). Por ello, el debate no puede reducirse a la integridad académica o al uso instrumental de una nueva herramienta: también exige revisar qué evidencias permiten afirmar que un estudiante comprende matemáticas.

La literatura reciente diferencia, al menos, tres planos de análisis. El primero se relaciona con la integridad académica y la autoría; el segundo, con el rediseño de la evaluación; y el tercero, con los efectos sobre el aprendizaje conceptual, la autorregulación y la transferencia. En este último plano, la descarga cognitiva —entendida como la externalización de operaciones para reducir la demanda mental— no es necesariamente negativa, pero puede resultar subóptima cuando sustituye el monitoreo y la elaboración interna (Risko & Gilbert, 2016). Estudios en educación matemática muestran que los estudiantes pueden utilizar la IAG como fuente de ideas y contraste, pero también aceptar argumentos incorrectos o incorporar soluciones sin apropiación suficiente (Yoon et al., 2024). De forma complementaria, la evidencia experimental indica que el apoyo de la IAG puede mejorar el desempeño durante la práctica y, sin salvaguardas didácticas, no traducirse en aprendizaje autónomo posterior (Bastani et al., 2025; Fan et al., 2025).

Desde el enfoque instrumental, toda herramienta se convierte en instrumento educativo mediante procesos de apropiación y mediación, no por sus capacidades técnicas aisladas (Rabardel, 1995; Artigue, 2002). En el caso de la IAG, conviene distinguir tres niveles: la generación probabilística de secuencias textuales, la apariencia lingüística de una explicación y la comprensión matemática humana. Los grandes modelos de lenguaje producen respuestas a partir de regularidades estadísticas aprendidas; la coherencia del texto resultante no constituye, por sí misma, evidencia de significado vivido, intención ni comprensión conceptual (Bender et al., 2021; Floridi & Chiriatti, 2020). En consecuencia, el problema educativo no consiste en atribuir estados mentales a la máquina, sino en analizar cómo el estudiante interpreta, valida y transforma sus productos.

En este contexto surge la pregunta central: ¿qué significa aprender matemáticas cuando procedimientos y explicaciones pueden obtenerse de forma automática? La cuestión obliga a reconsiderar la práctica escolar que identifica el aprendizaje con la reproducción de algoritmos o con la presentación de una respuesta correcta. La automatización no vuelve innecesario el conocimiento matemático; hace más visible la diferencia entre ejecutar, explicar, comprender, justificar y decidir.

La orientación procedimental de la enseñanza no puede atribuirse de manera lineal a una única tradición filosófica. El positivismo privilegió la observabilidad y la verificabilidad; el logicismo y el formalismo contribuyeron a consolidar ideales de rigor y demostración; y los sistemas escolares tradujeron parcialmente esas influencias en currículos secuenciados, ejercicios estandarizados y evaluaciones centradas en productos. Estas tradiciones no son equivalentes ni explican por sí solas la práctica educativa, pero su convergencia histórica favoreció, en numerosos contextos, la asociación entre exactitud formal y dominio matemático (Carnap, 1934; Comte, 1853; Ernest, 1991).

La tesis del artículo sostiene que la IAG funciona como una prueba de estrés para esa equivalencia: permite producir artefactos matemáticos plausibles sin garantizar que el estudiante haya construido las relaciones conceptuales que los sustentan. Para fundamentar esta tesis se realizó una revisión narrativa teórico-crítica con síntesis hermenéutico-conceptual. El análisis siguió cinco pasos: lectura exploratoria del corpus, codificación de conceptos recurrentes, comparación entre didáctica de la matemática, filosofía de la tecnología y estudios de IA educativa, construcción de categorías y validación argumentativa mediante contraste de interpretaciones y búsqueda de casos discrepantes.

El término riesgo epistémico no se presenta como una creación ex nihilo. En filosofía de la ciencia se emplea para analizar posibilidades de error vinculadas con decisiones, prácticas e instituciones de producción de conocimiento (Biddle, 2020; Biddle & Kukla, 2017). La originalidad de este trabajo radica en su adaptación didáctica al aprendizaje matemático

mediado por IAG y en su articulación con la agencia epistémica. El propósito es ofrecer un marco conceptual que permita distinguir entre el apoyo tecnológico que amplía la comprensión y la delegación que reemplaza el involucramiento del estudiante, así como derivar criterios observables para tareas, mediación y evaluación.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló como una revisión narrativa teórico-crítica con orientación hermenéutico-conceptual y búsqueda bibliográfica estructurada. Se optó por esta modalidad porque el objetivo no fue estimar un efecto promedio ni agotar toda la producción disponible, como exigiría una revisión sistemática, sino integrar tradiciones teóricas heterogéneas, esclarecer conceptos y construir una propuesta interpretativa para la educación matemática. La búsqueda estructurada se incorporó para fortalecer la transparencia y la verificabilidad del corpus.

Se consultaron Scopus, Web of Science, ERIC, Google Scholar y Crossref, combinando descriptores en español e inglés relacionados con educación matemática, generative AI, *large language models*, *mathematical understanding*, *epistemic agency*, *epistemic risk*, *cognitive offloading*, *assessment* y *mathematical modeling*. Se consideraron textos fundacionales sin restricción temporal y publicaciones sobre IAG entre 2020 y junio de 2025. Se incluyeron artículos revisados por pares, libros y capítulos de alta relevancia conceptual, estudios empíricos en educación y trabajos directamente vinculados con aprendizaje matemático. Se excluyeron duplicados, textos de opinión sin sustento bibliográfico, documentos sin trazabilidad editorial y referencias cuyo DOI o metadatos no pudieron verificarse.

El corpus final quedó constituido por 35 fuentes: 22 aportes teórico-fundacionales y 13 estudios o revisiones recientes sobre IA y aprendizaje. El equilibrio se alcanzó mediante muestreo teórico intencional: las obras clásicas aportaron categorías sobre comprensión, competencia, modelación, instrumentos y epistemología; las fuentes recientes permitieron contrastar oportunidades, límites, sobredependencia, alfabetización en IA y formas concretas de interacción estudiantil con sistemas generativos.

Tabla 1
Estrategia de búsqueda y conformación del corpus

Aspecto	Decisión metodológica
Tipo de revisión	Narrativa teórico-crítica con síntesis hermenéutico-conceptual y búsqueda estructurada de apoyo.
Fuentes consultadas	Scopus, Web of Science, ERIC, Google Scholar y Crossref.
Descriptores principales	“mathematics education”, “AI in education”, “generative AI”, “large language models”, “mathematical understanding”, “epistemic agency”, “epistemic risk”, “cognitive offloading”, “assessment” y “mathematical modeling”.
Cobertura temporal	Textos fundacionales sin límite temporal; literatura sobre IAG publicada entre 2020 y junio de 2025.
Inclusión	Fuentes revisadas por pares, libros o capítulos relevantes, estudios empíricos educativos y trabajos con relación directa con la educación matemática.
Exclusión	Duplicados, opinión sin respaldo académico, documentos sin trazabilidad editorial y referencias con DOI o metadatos no verificables.
Corpus final	35 fuentes: 22 teórico-fundacionales y 13 estudios o revisiones recientes.

El análisis se realizó en cinco etapas: (1) lectura inicial y elaboración de fichas de contenido; (2) codificación abierta de conceptos vinculados con procedimiento, comprensión, validación, modelación, metacognición y agencia; (3) comparación transversal entre los tres campos teóricos; (4) construcción y refinamiento de las categorías riesgo epistemológico y agencia epistémica; y (5) validación argumentativa mediante revisión de coherencia interna, contraste con perspectivas de cognición distribuida y búsqueda de evidencia que mostrara tanto riesgos como usos formativos de la IAG. Por su naturaleza conceptual, los resultados expresan relaciones teóricas plausibles y no inferencias causales generalizables.

RESULTADOS

Tensión epistemológica: comprensión instrumental y relacional

La distinción de Skemp (1976) entre comprensión instrumental —saber aplicar una regla— y comprensión relacional —saber qué hacer y por qué— ofrece un primer eje interpretativo. Hiebert y Carpenter (1992) complementan esta perspectiva al entender la comprensión como una red de representaciones conectadas. En muchos usos escolares, la IAG tiende a suministrar el producto lingüístico de un razonamiento: pasos, argumentos y justificaciones que pueden ser correctos, incompletos o erróneos. Esa producción no permite inferir automáticamente que el estudiante haya construido una red conceptual equivalente.

La investigación en resolución de problemas ha mostrado que el dominio matemático incluye recursos, estrategias, creencias y control metacognitivo, no solo ejecución algorítmica (Schoenfeld, 1985; Kilpatrick et al., 2001). La IAG vuelve más visible esta diferencia porque puede elevar el desempeño inmediato sin asegurar aprendizaje transferible. Por tanto, la respuesta correcta debe considerarse una evidencia necesaria en algunas tareas, pero insuficiente cuando no se acompaña de explicación, control, contraste y reconstrucción autónoma.

Matrices sobre positivismo, formalismo y evaluación escolar

El positivismo, el logicismo y el formalismo conforman tradiciones distintas. El positivismo acentuó la verificabilidad del conocimiento; el logicismo buscó fundamentar la matemática en la lógica; y el formalismo destacó la consistencia de sistemas simbólicos. En educación, estas corrientes fueron reinterpretadas junto con necesidades administrativas de secuenciación, certificación y medición. Por ello, no resulta riguroso atribuir la enseñanza procedimental a una sola filosofía; es más preciso hablar de una convergencia entre ideales de rigor, cultura escolar y dispositivos evaluativos.

Dicha convergencia favoreció tareas de respuesta única, ejercicios repetitivos y criterios de corrección fácilmente observables. Estas prácticas pueden ser útiles para desarrollar fluidez, siempre que no se confundan con la totalidad de la competencia. El problema aparece cuando la evaluación privilegia exclusivamente el producto y deja invisibles la interpretación, la selección de supuestos, la modelación, la argumentación y la regulación del proceso.

Los enfoques críticos y constructivistas han insistido en el carácter humano, situado y social de la actividad matemática (Ernest, 1991; Skovsmose, 2011). La presencia de IAG refuerza esa advertencia: un resultado verificable puede provenir de procesos cognitivos muy diferentes. En consecuencia, el rigor escolar debe ampliarse desde la corrección sintáctica hacia la trazabilidad del razonamiento y la responsabilidad sobre las decisiones tomadas.

La IAG no invalida los procedimientos ni la formalización. Su presencia muestra que tales dimensiones, aun siendo indispensables, no bastan para demostrar comprensión cuando pueden ser producidas externamente. El foco epistemológico se desplaza hacia aquello que el estudiante puede explicar, cuestionar, transferir y defender con criterios matemáticos.

Competencia matemática integrada y agencia epistémica

La competencia matemática puede entenderse como una capacidad integrada para movilizar conocimientos y criterios en contextos diversos (Niss, 2003; Niss & Højgaard, 2019). En este marco se proponen cuatro dimensiones interdependientes: razonamiento y argumentación; modelación; juicio matemático; y validación crítica. Ninguna opera de forma aislada: modelar exige interpretar, argumentar requiere seleccionar criterios y validar supone reconocer límites, contraejemplos y condiciones de aplicabilidad.

La agencia epistémica se define aquí como la capacidad y disposición del estudiante para asumir autoría intelectual sobre su proceso: formular preguntas, escoger representaciones, justificar estrategias, verificar resultados y decidir qué aceptar, modificar o rechazar. La IAG puede apoyar estas acciones, pero no puede ejercerlas en lugar del estudiante. En términos observables, existe agencia cuando el alumno explica por qué utilizó un procedimiento, identifica supuestos, contrasta una salida con otra fuente o método, localiza un error, solicita una reformulación pertinente y produce una versión propia coherente con su comprensión.

Un ejemplo de aula permite concretar el constructo: ante una demostración generada por IA de que $n^3 - n$ es divisible por 6, un estudiante con agencia no se limita a copiarla. Comprueba la factorización $n(n-1)(n+1)$, explica por qué tres enteros consecutivos contienen un múltiplo de 3 y al menos uno par, detecta si la respuesta omite casos y reescribe el argumento con sus propias decisiones. Las evidencias centrales son la justificación, la detección autónoma de inconsistencias, la comparación de métodos y la capacidad de transferir el razonamiento a una proposición análoga.

Modelación matemática y responsabilidad epistemológica

En la modelación, la matematización horizontal traduce una situación al lenguaje matemático y la vertical reorganiza relaciones dentro del sistema formal (Freudenthal, 1991; Gravemeijer, 1994). La IAG puede sugerir ecuaciones, gráficos o técnicas de resolución, pero la pertinencia del modelo depende de decisiones sobre variables, supuestos, escalas y significados. Por ejemplo, al estimar el costo de transporte escolar, el sistema puede resolver una función lineal; sin embargo, corresponde al estudiante decidir si el costo fijo existe, si la relación es realmente lineal, qué datos son confiables y si el resultado es razonable para el contexto.

La parte delegable comprende cálculos, exploración de alternativas y generación de representaciones. La parte no delegable como evidencia de aprendizaje comprende la elección justificada del modelo, la interpretación de parámetros, el análisis de límites y la responsabilidad por las conclusiones. Esta distinción evita tanto rechazar la herramienta como aceptar que cualquier uso eficiente equivale a comprender.

Riesgo epistemológico: alcance, dimensiones y diferenciación

El riesgo epistemológico se define como una condición en la que la interacción con la IAG puede intensificar la posibilidad de obtener productos matemáticos formalmente aceptables sin una participación suficiente del estudiante en la construcción, validación y regulación del conocimiento. Esta formulación evita atribuir una probabilidad cuantificada que el presente estudio no mide. El concepto general de riesgo epistémico procede de la filosofía de la ciencia (Biddle, 2020; Biddle & Kukla, 2017); su adaptación aquí se centra en la relación entre éxito formal, comprensión y agencia en la educación matemática.

El constructo se diferencia del error tecnológico y del fraude académico. Puede existir riesgo, aunque la respuesta sea correcta y el uso esté permitido: su rasgo distintivo es que el producto funciona como sustituto aparente de una comprensión que no ha sido demostrada. También debe distinguirse de toda externalización cognitiva, pues las herramientas pueden ampliar capacidades cuando el estudiante conserva el control, revisa el resultado y utiliza el apoyo para profundizar su razonamiento (Clark, 2008; Risko & Gilbert, 2016).

Las dimensiones de la Tabla 2 se derivan de una síntesis entre la literatura sobre comprensión, metacognición, cognición distribuida y estudios recientes de IAG, junto con una elaboración conceptual propia orientada a la educación matemática. Las evidencias propuestas son indicadores iniciales para futura validación empírica; no constituyen todavía una escala estandarizada.

Tabla 2

Dimensiones, manifestaciones y posibles evidencias de aula del riesgo epistemológico

Dimensión	Manifestación observable	Riesgo asociado	Posibles evidencias de aula
Delegación cognitiva	Dependencia sistemática de respuestas generadas por IA	Pérdida de autonomía intelectual	No inicia una estrategia propia; reproduce la salida sin explicar decisiones.

Dimensión	Manifestación observable	Riesgo asociado	Posibles evidencias de aula
Validación superficial	Aceptación de soluciones plausibles sin comprobación	Simulación de comprensión	No verifica operaciones, teoremas, dominio o contraejemplos.
Externalización metacognitiva	Ausencia de planificación, monitoreo y evaluación del proceso	Debilitamiento de la autorregulación	No puede describir dónde tuvo dificultad ni por qué cambió de estrategia.
Desvinculación semántica	Resolución formal sin del interpretación contexto	Alienación cognitiva	Obtiene un valor, pero no interpreta unidades, variables, supuestos o razonabilidad.
Automatización argumentativa	Reproducción de explicaciones sin apropiación conceptual	Fragilidad transferencial	No reconstruye el argumento con sus palabras ni lo adapta a una tarea análoga.

Nota. La tabla integra categorías de la literatura y una síntesis conceptual propia. Su uso investigativo requiere definir tareas, criterios de codificación, niveles de desempeño y evidencia de validez en contextos reales.

DISCUSIÓN

Más allá de la simulación procedimental

Los sistemas actuales pueden producir explicaciones que aparentan comprensión relacional; precisamente por ello, la plausibilidad discursiva puede aumentar la dificultad de reconocer una delegación acrítica. La diferencia relevante no está únicamente en la forma del texto, sino en la actividad del estudiante frente a él. Una explicación generada puede convertirse en recurso de aprendizaje cuando se compara, cuestiona y reconstruye; se convierte en sustituto cuando se acepta como autoridad sin control.

La cognición distribuida recuerda que pensar siempre ha estado mediado por símbolos, papel, calculadoras y otros artefactos (Clark, 2008). Por tanto, el objetivo no debe ser preservar una supuesta cognición completamente interna, sino distinguir entre externalización estratégica y reemplazo del involucramiento epistémico. Esta distinción coincide con investigaciones que muestran usos críticos de la IAG en demostración matemática y con estudios que advierten sobre dependencia, menor regulación o reducción del aprendizaje autónomo (Bastani et al., 2025; Fan et al., 2025; Yoon et al., 2024).

La evidencia disponible no autoriza una conclusión tecnodeterminista. Las revisiones recientes identifican oportunidades para retroalimentación, personalización, generación de ejemplos y apoyo a la exploración, junto con problemas de precisión, sesgo, sobredependencia y evaluación (Bauer et al., 2025; Kasneci et al., 2023; Yan et al., 2024). El riesgo epistemológico es relacional: depende del tipo de tarea, las salvaguardas del sistema, la mediación docente, la alfabetización en IA y la responsabilidad que conserva el estudiante.

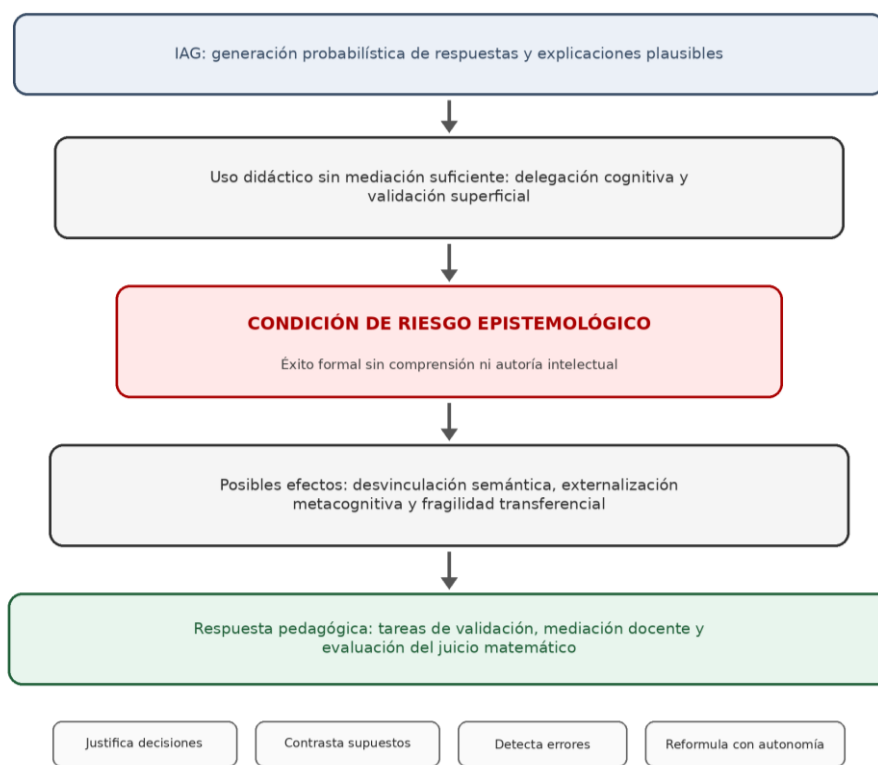
El marco propuesto organiza la secuencia conceptual de la Figura 1: la generación de respuestas plausibles puede favorecer delegación cognitiva y validación superficial; estas prácticas configuran una condición de riesgo cuando desplazan la comprensión y la autoría; y la respuesta pedagógica debe reforzar tareas de validación, mediación y evaluación del juicio matemático.

Más que contraponer dos paradigmas cerrados, conviene pensar en un continuo. En un extremo, la IA se usa para automatizar productos y la evaluación premia la reproducción; en el otro, la IA funciona como objeto de análisis, contraste y creación, mientras el estudiante debe sostener sus decisiones. La transición entre ambos extremos depende de diseños concretos y no de la herramienta en abstracto.

Cuanto más convincente resulte una respuesta generada, mayor será la necesidad de hacer visible el proceso de validación. La exigencia epistemológica se traslada desde preguntar únicamente si el resultado es correcto hacia examinar quién decidió, con qué supuestos, mediante qué controles y con qué capacidad de reconstrucción.

Figura 1

Flujo conceptual y respuesta pedagógica ante el riesgo epistemológico en educación matemática mediada por IAG



Nota. La condición de riesgo no es un efecto inevitable de la IAG. Se intensifica cuando la generación de productos plausibles se combina con delegación acrítica y se mitiga mediante indicadores de agencia: justificar, contrastar, detectar errores y reformular con autonomía.

Implicaciones didácticas

Las implicaciones siguientes se entienden como hipótesis de diseño derivadas del marco conceptual. Su eficacia deberá evaluarse mediante estudios de aula e ingeniería didáctica (Artigue, 2014). El principio común consiste en conservar oportunidades para que el estudiante piense antes de consultar la IAG, dialogue críticamente con sus respuestas y cierre la tarea con una producción autónoma.

Rediseño de tareas matemáticas

Una tarea rica no necesita ser irresoluble para la máquina; debe exigir decisiones que hagan visible la comprensión. Son pertinentes actividades en las que el estudiante formule supuestos, compare dos soluciones generadas, identifique un error mínimo, construya un contraejemplo, explique qué información falta, modele una situación con datos incompletos o adapte una estrategia a un nuevo caso. Puede organizarse una secuencia en tres momentos: resolución inicial sin IA, interacción guiada para contraste y versión final argumentada con registro de cambios.

El docente como mediador epistemológico

La mediación docente puede estructurarse en tres niveles: asegurar un enfrentamiento inicial con el problema; orientar la interacción con la IAG mediante preguntas de verificación; y promover una discusión colectiva sobre criterios de validez. El docente no compite con la velocidad del sistema, sino que diseña las condiciones para que la respuesta generada sea examinada como objeto matemático y no aceptada como autoridad incuestionable (Chevallard, 1998).

Metacognición y alfabetización en IA

La metacognición constituye una protección pedagógica cuando el estudiante planifica, monitorea y evalúa su actividad. Preguntas como “¿qué sé antes de consultar?”, “¿qué parte de la respuesta puedo verificar?”, “¿qué supuesto no está explícito?” y “¿podría resolver una variante sin la herramienta?” devuelven trazabilidad al proceso. Esta práctica debe complementarse con alfabetización en IA: comprender que los modelos generan respuestas probabilísticas, reconocer sus límites y documentar de forma transparente el uso realizado (Schoenfeld, 1985; Walter, 2024).

Evaluación del aprendizaje: del producto al juicio matemático

La evaluación centrada únicamente en el producto final pierde capacidad diagnóstica cuando ese producto puede generarse externamente. Esto no implica abandonar la corrección, sino integrarla con evidencias del proceso: borradores, explicaciones orales, decisiones de modelación, validación de salidas, análisis de errores y transferencia a tareas nuevas.

La Tabla 3 concreta tres instrumentos. En una rúbrica, los criterios pueden valorar la justificación de decisiones, la verificación independiente, la interpretación y la autonomía. En una entrevista clínica, el docente puede preguntar qué parte de la respuesta se acepta, qué cambiaría si varía una condición y cómo se comprobaría el resultado sin IA. En una tarea de validación, se entrega una solución generada que contiene un error sutil y se solicita localizarlo, explicar su efecto y reconstruir el procedimiento.

Tabla 3
Ejemplos de instrumentos para evaluar agencia epistémica y juicio matemático

Instrumento	Ejemplo de consigna	Criterios observables
Rúbrica analítica	Resuelva, documente el uso de IA y justifique qué elementos aceptó, modificó o rechazó.	Coherencia de la estrategia; verificación independiente; explicitación de supuestos; autonomía de la versión final.
Entrevista clínica	Explique por qué la solución funciona, qué condición podría invalidarla y cómo la comprobaría sin IA.	Comprensión relacional; control metacognitivo; capacidad de transferencia y respuesta a contraejemplos.
Tarea de validación	Analice una salida de IA con un error sutil, localícelo y reconstruya una solución correcta.	Detección del error; explicación de su impacto; uso de criterios matemáticos; reformulación argumentada.

La implementación de estos instrumentos presenta desafíos de tiempo, fiabilidad y escalabilidad. Para reducirlos se requieren criterios descriptivos claros, muestras breves de desempeño, moderación entre docentes y combinación de evidencias escritas y orales. La evaluación del juicio matemático no debe convertirse en una impresión subjetiva, sino en una inferencia sustentada en conductas observables y tareas comparables.

La IAG como prueba de estrés y oportunidad de rediseño

La IAG actúa como prueba de estrés para una matemática escolar que utiliza la corrección visible como sustituto de la comprensión. Su aporte crítico consiste en mostrar que el desempeño y el aprendizaje pueden separarse. A la vez, abre oportunidades para generar ejemplos, explorar conjeturas y comparar representaciones, siempre que el diseño preserve la actividad cognitiva que se pretende desarrollar (Bauer et al., 2025; Mollick & Mollick, 2023).

La discusión no debe formularse como una crisis exclusiva del positivismo ni como una oposición entre tecnología y humanidad. Se trata de revisar un conjunto de prácticas institucionales que privilegian respuestas fácilmente medibles. La IAG hace urgente diversificar evidencias, pero esa transformación depende de currículos, tiempos, formación docente y políticas de evaluación.

Persisten tensiones de equidad. Los estudiantes con mayor capital cultural pueden usar la IAG para contrastar y profundizar, mientras otros pueden limitarse al consumo de respuestas. La solución no es prohibir de forma general, sino asegurar alfabetización, acceso acompañado, tareas inclusivas y criterios transparentes. También se requiere considerar privacidad, sesgos lingüísticos y desigualdad en la calidad de las herramientas disponibles.

La cognición extendida ofrece una objeción productiva: las herramientas pueden formar parte de sistemas cognitivos más amplios y mejorar el desempeño (Clark, 2008). El marco de riesgo epistemológico acepta esta posibilidad. La pregunta no es si el pensamiento debe permanecer aislado de artefactos, sino si el estudiante conserva capacidad de orientar, evaluar y explicar el sistema distribuido en el que participa.

La evidencia empírica es todavía heterogénea. Algunos estudios muestran mejoras de desempeño, retroalimentación y exploración; otros identifican sobredependencia, procesos metacognitivos menos profundos o dificultades de transferencia (Bastani et al., 2025; Fan et al., 2025; Yan et al., 2024). Estas diferencias apoyan una interpretación condicional: los efectos dependen de la tarea, el diseño del tutor, el momento de uso y las salvaguardas pedagógicas.

Por ello, el riesgo epistemológico debe utilizarse como lente de diagnóstico y no como sentencia contra la IAG. Su utilidad reside en preguntar qué operaciones se externalizan, cuáles se mantienen, qué evidencias demuestran apropiación y cómo se distribuye la responsabilidad entre estudiante, docente, institución y sistema tecnológico.

CONCLUSIONES

La expansión de la inteligencia artificial generativa está reconfigurando de manera profunda las condiciones en las que se enseña, se aprende y se evalúa matemáticas. El análisis desarrollado muestra que la producción de una respuesta correcta ya no puede asumirse, por sí sola, como evidencia suficiente de comprensión. La contribución central consiste en adaptar la noción de riesgo epistémico al campo de la educación matemática y definirla como una condición de posible separación entre éxito formal, construcción de significado y agencia del estudiante.

Esta propuesta no niega el valor de los procedimientos ni reduce la historia de la educación matemática a una sola tradición filosófica. Plantea que la exactitud, la formalización y la verificabilidad deben articularse con interpretación, argumentación, modelación, metacognición y juicio. La IAG evidencia la necesidad de observar no solo qué producto se entrega, sino cómo se construye, valida y asume intelectualmente.

La respuesta pedagógica no reside en la prohibición general ni en la adopción acrítica. Requiere tareas que hagan visible el razonamiento, mediación docente orientada al contraste y sistemas de evaluación que valoren la justificación, la detección de errores, la interpretación y la transferencia. La agencia epistémica ofrece el principio organizador: el estudiante puede usar apoyos externos, pero debe conservar la capacidad de decidir, verificar y reconstruir.

Limitaciones y futuras líneas de investigación

El trabajo es teórico-conceptual y no valida empíricamente las dimensiones propuestas. El corpus se conformó mediante una revisión narrativa con búsqueda estructurada, por lo que no pretende exhaustividad ni permite estimar magnitudes de efecto. Además, las categorías riesgo epistemológico y agencia epistémica requieren estudios de validez de contenido, consistencia entre observadores y relación con medidas de comprensión, transferencia y autorregulación.

El análisis adopta una perspectiva amplia y no diferencia de forma exhaustiva entre niveles educativos, dominios matemáticos, versiones de modelos o condiciones de acceso. Las interacciones con IAG pueden variar entre primaria, secundaria, universidad y formación profesional, así como entre aritmética, álgebra, geometría, estadística, modelación y demostración.

Las investigaciones futuras deberían desarrollar rúbricas e indicadores observables, comparar secuencias de uso antes y después de una resolución inicial, estudiar diseños longitudinales y analizar desigualdades de acceso y mediación. También será necesario identificar qué formas de externalización amplían la comprensión y cuáles sustituyen el

esfuerzo cognitivo, con atención a la diversidad de estudiantes y a los cambios rápidos de las tecnologías.

REFERENCIAS

- Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3), 245-274. <https://doi.org/10.1023/A:1022103903080>
- Artigue, M. (2014). Didactical engineering in mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 85(3), 329-347. <https://doi.org/10.1007/s10649-014-9548-0>
- Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakçı, Ö., & Mariman, R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(26), e2422633122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122>
- Bauer, E., Greiff, S., Graesser, A. C., Scheiter, K., & Sailer, M. (2025). Looking beyond the hype: Understanding the effects of AI on learning. *Educational Psychology Review*, 37, Article 45. <https://doi.org/10.1007/s10648-025-10020-8>
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? In *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 610-623). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Biddle, J. B. (2020). On predicting recidivism: Epistemic risk, tradeoffs, and values in machine learning. *Canadian Journal of Philosophy*, 52(3), 321-341. <https://doi.org/10.1017/can.2020.27>
- Biddle, J. B., & Kukla, R. (2017). The geography of epistemic risk. In K. C. Elliott & T. Richards (Eds.), *Exploring inductive risk: Case studies of values in science* (pp. 215-238). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780190467715.003.0011>
- Carnap, R. (1934). *The logical syntax of language*. Routledge & Kegan Paul.
- Chevallard, Y. (1998). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Aique.
- Clark, A. (2008). *Supersizing the mind: Embodiment, action, and cognitive extension*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195333213.001.0001>
- Comte, A. (1853). *The positive philosophy of Auguste Comte*. Calvin Blanchard.
- Ernest, P. (1991). *The philosophy of mathematics education*. Falmer Press.
- Fan, Y., Tang, L., Le, H., Shen, K., Tan, S., Zhao, Y., Shen, Y., Li, X., & Gašević, D. (2025). Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance. *British Journal of Educational Technology*, 56(2), 489-530. <https://doi.org/10.1111/bjet.13544>
- Floridi, L. (2014). *The fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality*. Oxford University Press.
- Floridi, L., & Chiriatti, M. (2020). GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences. *Minds and Machines*, 30, 681-694. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09548-1>
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting mathematics education: China lectures*. Kluwer Academic Publishers.
- Gravemeijer, K. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Freudenthal Institute.
- Hiebert, J. (1986). Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 17(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/BF00302375>
- Hiebert, J., & Carpenter, T. P. (1992). Learning and teaching with understanding. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 65-97). Macmillan.
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., Weller, J., Kuhn, J., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kilpatrick, J., Swafford, J., & Findell, B. (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/9822>
- Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), Article 410. <https://doi.org/10.3390/educsci13040410>
- Mollick, E. R., & Mollick, L. (2023). Using AI to implement effective teaching strategies in classrooms: Five strategies, including prompts. *The Wharton School Research Paper*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4391243>
- Niss, M. (2003). Mathematical competencies and the learning of mathematics. In A. Gagatsis & S. Papastavridis (Eds.), *Proceedings of the 3rd Mediterranean Conference on Mathematical Education* (pp. 115-124). Hellenic Mathematical Society.
- Niss, M., & Højgaard, T. (2019). Mathematical competencies revisited. *Educational Studies in Mathematics*, 102(1), 9-28. <https://doi.org/10.1007/s10649-019-09903-9>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: Approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.

- Risko, E. F., & Gilbert, S. J. (2016). Cognitive offloading. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(9), 676-688. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.07.002>
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. Academic Press.
- Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press.
- Skemp, R. R. (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching*, 77, 20-26.
- Skovsmose, O. (2011). *An invitation to critical mathematics education*. Sense Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-6091-442-3>
- Taani, O., & Alabidi, S. (2024). ChatGPT in education: Benefits and challenges of ChatGPT for mathematics and science teaching practices. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2357341>
- Walter, Y. (2024). Embracing the future of artificial intelligence in the classroom: The relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, Article 15. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>
- Yan, L., Greiff, S., Teuber, Z., & Gašević, D. (2024). Promises and challenges of generative artificial intelligence for human learning. *Nature Human Behaviour*, 8, 1839-1850. <https://doi.org/10.1038/s41562-024-02004-5>
- Yoon, H., Hwang, J., Lee, K., Roh, K. H., & Kwon, O. N. (2024). Students' use of generative artificial intelligence for proving mathematical statements. *ZDM-Mathematics Education*, 56, 1531-1551. <https://doi.org/10.1007/s11858-024-01629-0>

FUNDING / FINANCIAMIENTO

Not applicable / No aplica.

CONFLICT OF INTEREST / CONFLICTO DE INTERÉS

Not applicable / No aplica.

AUTHOR CONTRIBUTION / CONTRIBUCION AUTORAL

Conceptualization: Fernando José Hernández Gómez

Data curation: Clifford Jerry Herrera Castrillo

Formal analysis: Teresa Hernández Castillo

Research: Fernando José Hernández Gómez

Methodology: Clifford Jerry Herrera Castrillo

Validation: Teresa Hernández Castillo

Display: Fernando José Hernández Gómez

Drafting - original draft: Clifford Jerry Herrera Castrillo

Writing - proofreading and editing: Teresa Hernández Castillo