

Pedagogical framework for deep mathematical learning with generative artificial intelligence in engineering education

Quiroz-Chavil, Helga¹; Capuñay-Uceda, Carlos²; Nauca Torres, Enrique²; Capuñay-Uceda, Oscar²

¹Universidad Tecnológica del Perú UTP – Perú, c22682@utp.edu.pe

²Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Perú, ccapunay@unprg.edu.pe, enaucat@unprg.edu.pe, ocapunayu@unprg.edu.pe

Abstract—The rapid incorporation of generative artificial intelligence into higher education has opened up new possibilities for teaching mathematics in engineering programs; however, its unstructured use poses risks associated with superficial learning, cognitive dependency, and lack of conceptual transfer. Despite the growing volume of studies on generative AI in education, there remains a gap in terms of explicit pedagogical frameworks that guide its integration toward deep mathematical learning. In this context, the present study aims to design and conceptually ground a pedagogical framework to promote deep mathematical learning through the use of generative artificial intelligence in engineering education. The research adopts a qualitative approach with a non-experimental theoretical-conceptual design, based on an integrative synthesis and critical analysis of recent scientific literature. As a result, a framework structured in five interrelated layers is proposed: deep mathematical learning intentions, pedagogical roles of generative AI, human-AI interaction patterns, didactic sequences oriented towards deep reasoning, and criteria for authentic assessment and ethical management. The framework emphasizes the role of AI as a regulated cognitive mediator, subordinate to pedagogical and metacognitive principles. It is concluded that the proposal constitutes a solid conceptual basis for guiding future research aimed at the implementation and empirical validation of the pedagogical use of generative AI in the teaching of mathematics in engineering.

Keywords— Generative artificial intelligence, Deep mathematical learning, Engineering education, Pedagogical framework, Metacognition.

Framework pedagógico para el aprendizaje matemático profundo con inteligencia artificial generativa en educación en ingeniería

Quiroz-Chavil, Helga¹; Capuñay-Uceda, Carlos²; Nauca Torres, Enrique²; Capuñay-Uceda, Oscar²

¹Universidad Tecnológica del Perú UTP – Perú, c22682@utp.edu.pe

²Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Perú, ccapunay@unprg.edu.pe, enaucat@unprg.edu.pe, ocapunayu@unprg.edu.pe

Resumen—La rápida incorporación de la inteligencia artificial generativa en la educación superior ha abierto nuevas posibilidades para la enseñanza de las matemáticas en programas de ingeniería; sin embargo, su uso no estructurado plantea riesgos asociados al aprendizaje superficial, la dependencia cognitiva y la falta de transferencia conceptual. A pesar del creciente volumen de estudios sobre IA generativa en educación, persiste una brecha en cuanto a la existencia de marcos pedagógicos explícitos que orienten su integración hacia el aprendizaje matemático profundo. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo diseñar y fundamentar conceptualmente un framework pedagógico para promover el aprendizaje matemático profundo mediante el uso de inteligencia artificial generativa en educación en ingeniería. La investigación adopta un enfoque cualitativo con un diseño no experimental de carácter teórico-conceptual, basado en una síntesis integrativa y un análisis crítico de la literatura científica reciente. Como resultado, se propone un framework estructurado en cinco capas interrelacionadas: intenciones de aprendizaje matemático profundo, roles pedagógicos de la IA generativa, patrones de interacción humano-IA, secuencias didácticas orientadas al razonamiento profundo y criterios de evaluación auténtica y gestión ética. El framework enfatiza el rol de la IA como mediador cognitivo regulado, subordinado a principios pedagógicos y metacognitivos. Se concluye que la propuesta constituye una base conceptual sólida para orientar investigaciones futuras orientadas a la implementación y validación empírica del uso pedagógico de la IA generativa en la enseñanza de las matemáticas en ingeniería.

Palabras clave- Inteligencia artificial generativa, Aprendizaje matemático profundo, Educación en ingeniería, Framework pedagógico, Metacognición.

I. INTRODUCCIÓN

La rápida expansión de la inteligencia artificial generativa (IA generativa), impulsada por modelos de lenguaje de gran escala (LLM), ha generado transformaciones sustantivas en la educación superior, particularmente en las disciplinas STEM. En el ámbito de la educación en ingeniería, las matemáticas desempeñan un rol estructural en el desarrollo del razonamiento abstracto, la modelación y la resolución de problemas complejos. En este contexto, la IA generativa emerge como una herramienta con potencial para ofrecer retroalimentación inmediata, personalizar el aprendizaje y apoyar procesos cognitivos de alto nivel. No obstante, su incorporación pedagógica plantea desafíos críticos

relacionados con la profundidad del aprendizaje que promueve.

La literatura reciente coincide en que el uso de IA generativa puede mejorar el rendimiento académico y la comprensión conceptual cuando se integra mediante un diseño pedagógico explícito y reflexivo, y no como una herramienta automática de resolución de tareas (Gunsaldi et al., 2025). Estudios empíricos muestran que los estudiantes valoran positivamente la IA como apoyo al aprendizaje; sin embargo, también reportan riesgos significativos asociados a la pérdida de habilidades fundamentales, dependencia cognitiva y problemas de integridad académica cuando no existen orientaciones claras para su uso educativo [1], [2].

De manera particular, investigaciones experimentales han evidenciado que la IA generativa puede incrementar el desempeño inmediato sin producir mejoras sostenidas en la transferencia del conocimiento ni en la ganancia conceptual profunda. Un estudio advierte el fenómeno de pereza metacognitiva, donde los estudiantes delegan procesos de razonamiento y autorregulación en la IA cuando esta no se utiliza con andamiaje pedagógico explícito [3]. Este hallazgo resulta especialmente relevante en matemáticas, donde la comprensión conceptual, la justificación y la prueba constituyen objetivos formativos centrales.

En el campo de la educación en ingeniería, diversos autores coinciden en la necesidad de integrar la IA generativa mediante frameworks pedagógicos estructurados, alineados con objetivos de aprendizaje profundo y competencias profesionales. A partir de una scoping review, concluyen que la ausencia de marcos pedagógicos explícitos limita el impacto formativo de la IA y favorece usos instrumentales centrados en la eficiencia, más que en el desarrollo cognitivo [4]. De forma complementaria, revisiones sistemáticas recientes señalan que la mayoría de estudios sobre IA generativa en educación carecen de evaluaciones orientadas a la transferencia, el razonamiento profundo y la argumentación, concentrándose principalmente en medidas de logro académico o percepción estudiantil [5].

Asimismo, la evidencia sugiere que el diseño de la interacción con la IA es un factor determinante para la calidad del aprendizaje. Un estudio demuestra que el prompt engineering estructurado, combinado con evaluación crítica de las respuestas generadas, favorece la claridad conceptual y el pensamiento de alto nivel. Estos resultados refuerzan la idea de que la IA debe asumir roles pedagógicos específicos — como tutor socrático, verificador o generador de contraejemplos— y no operar como una fuente directa de soluciones [6].

En conjunto, la literatura revela una brecha clara entre el potencial tecnológico de la IA generativa y su impacto real en el aprendizaje matemático profundo. Aunque existe consenso sobre sus beneficios potenciales, persiste la ausencia de modelos pedagógicos integradores que orienten de manera sistemática el diseño instruccional, la evaluación auténtica y la gestión ética de su uso en matemáticas para ingeniería. Frente a esta problemática, la presente investigación propone el diseño y validación de un framework pedagógico para el aprendizaje matemático profundo con IA generativa, cuyo objetivo es articular principios didácticos, roles de la IA, secuencias de aprendizaje y estrategias de evaluación que promuevan comprensión conceptual, transferencia, argumentación y metacognición, minimizando a su vez los riesgos asociados a la dependencia y superficialidad cognitiva.

II. ESTADO DEL ARTE

A. IA generativa y aprendizaje matemático profundo

La investigación reciente sobre inteligencia artificial generativa (IA generativa) en educación superior evidencia un crecimiento acelerado del interés académico por su potencial para transformar los procesos de enseñanza y aprendizaje. No obstante, la literatura coincide en que los beneficios educativos de estos sistemas no son automáticos, sino que dependen de manera crítica del diseño pedagógico que regula su integración. En el ámbito de la educación en ingeniería, diversos autores sostienen que la IA generativa debe incorporarse mediante frameworks pedagógicos explícitos, alineados con objetivos de aprendizaje profundo y con el desarrollo de competencias profesionales, para evitar usos instrumentales centrados únicamente en la eficiencia o la automatización de tareas [4].

B. Beneficios condicionados por el diseño pedagógico

Una línea consistente de estudios empíricos y revisiones sistemáticas reporta que la IA generativa puede mejorar el rendimiento académico y la comprensión conceptual cuando se integra como parte de un diseño instruccional reflexivo. En una revisión sistemática basada en el protocolo PRISMA, concluyen que la IA generativa favorece el logro académico y la comprensión conceptual únicamente cuando se combina con estrategias pedagógicas explícitas y actividades de reflexión, y no cuando se utiliza como herramienta automática de

resolución de tareas. Estos resultados sugieren que el impacto positivo de la IA está mediado por el rol pedagógico que asume dentro del proceso de aprendizaje [7].

De manera complementaria, estudios de intervención educativa muestran que la IA puede reducir la carga cognitiva superficial, permitiendo que los estudiantes concentren sus esfuerzos en procesos de razonamiento, justificación y toma de decisiones de mayor nivel cognitivo [8]. Este hallazgo es especialmente relevante para las matemáticas en ingeniería, donde el aprendizaje profundo requiere comprender conceptos, establecer relaciones y construir argumentos formales más allá de la ejecución mecánica de procedimientos.

C. Riesgos para el aprendizaje profundo

Pese a estos beneficios potenciales, la literatura también documenta riesgos significativos asociados al uso no regulado de IA generativa. En un experimento aleatorizado con estudiantes universitarios, identifican que el uso de IA mejora el rendimiento inmediato, pero no produce mejoras significativas en la transferencia del aprendizaje ni en la ganancia conceptual profunda [3]. Además, los autores describen el fenómeno de pereza metacognitiva, caracterizado por la delegación de procesos de razonamiento y autorregulación en la IA cuando no existe un andamiaje pedagógico explícito.

Estos riesgos son corroborados por estudios cualitativos que recogen las percepciones estudiantiles. Aunque los estudiantes valoran la IA como apoyo al aprendizaje, expresan preocupación por la pérdida de habilidades fundamentales, problemas de integridad académica y la falta de políticas institucionales claras para su uso educativo [1]. De forma similar, investigadores advierten sobre riesgos de sobreconfianza, errores no detectados y dependencia cognitiva, recomendando que los entornos educativos incorporen mecanismos obligatorios de verificación y reflexión crítica [9].

Desde una perspectiva más amplia, un estudio analiza el “lado oscuro” de la IA generativa y destaca riesgos relacionados con sesgos, baja calidad de las respuestas, desigualdad en el acceso y ausencia de regulación, lo que refuerza la necesidad de integrar dimensiones éticas y de gobernanza en cualquier propuesta educativa basada en IA [2].

D. Importancia de la interacción y el diseño de prompts

Otro eje relevante del estado del arte es el papel del diseño de la interacción humano-IA. Shen y otros, demuestran que el prompt engineering estructurado puede mejorar la claridad conceptual y el pensamiento de alto nivel, siempre que los estudiantes evalúen críticamente las respuestas generadas por la IA. Este hallazgo desplaza el foco desde el simple uso de la tecnología hacia la orquestación pedagógica de la interacción, resaltando la necesidad de definir roles específicos para la IA, como tutor socrático, verificador o

generador de contraejemplos [6]. Estos resultados son coherentes con revisiones conceptuales que sostienen que la IA debe complementar, y no reemplazar, la comprensión profunda y el razonamiento humano, especialmente en dominios que requieren argumentación formal y juicio crítico, como las matemáticas [2], [10].

E. Limitaciones metodológicas del campo

A pesar del crecimiento del número de estudios, el campo presenta limitaciones metodológicas persistentes. Revisiones sistemáticas sobre el uso de IA generativa en educación STEM indican que predominan diseños cuasi-experimentales centrados en medidas de logro académico, actitudes o percepción, mientras que son escasas las evaluaciones orientadas a la transferencia del conocimiento y al razonamiento profundo [5]. Asimismo, estudios correlacionales multinacionales muestran asociaciones positivas entre el uso de chatbots de IA y el desempeño académico, pero no evalúan explícitamente la comprensión conceptual ni la capacidad de transferencia, lo que limita la interpretación de sus resultados [11].

F. Factores humanos e institucionales

Finalmente, la literatura subraya que el impacto educativo de la IA generativa está mediado por factores humanos e institucionales. Tang y otros identifican que el valor percibido del aprendizaje es uno de los predictores más fuertes de la intención de uso de IA en contextos universitarios, lo que refuerza la necesidad de diseños pedagógicos que demuestren beneficios formativos reales [12]. Por su parte, otro estudio señala que, aunque existe una percepción positiva hacia la IA, persiste un déficit de formación formal, lo cual resulta extrapolable a la educación en ingeniería [13].

G. Síntesis crítica

En conjunto, el estado del arte evidencia que la principal brecha en el uso educativo de la IA generativa no es tecnológica, sino pedagógica y evaluativa. Existe consenso en que la IA puede apoyar el aprendizaje cuando se integra con diseño y reflexión, pero también evidencia sólida de que, sin andamiaje explícito, puede afectar negativamente la transferencia, la metacognición y la profundidad del aprendizaje. Además, persiste una carencia de modelos pedagógicos integradores que articulen roles de la IA, secuencias didácticas, evaluación auténtica y gestión ética. Esta brecha fundamenta la necesidad de diseñar y validar un framework pedagógico para el aprendizaje matemático profundo con IA generativa, específicamente orientado a la educación en ingeniería.

III. JUSTIFICACIÓN

La integración de la inteligencia artificial generativa (IA generativa) en la educación superior se ha acelerado de manera significativa en los últimos años, impulsada por la

disponibilidad masiva de modelos de lenguaje de gran escala y su adopción espontánea por parte de estudiantes y docentes. En el contexto de la educación en ingeniería, esta transformación adquiere especial relevancia debido al papel central de las matemáticas en el desarrollo del razonamiento abstracto, la modelación y la resolución de problemas complejos. No obstante, la evidencia científica reciente muestra que la incorporación de IA generativa en matemáticas presenta una tensión crítica entre eficiencia y profundidad del aprendizaje, lo que justifica la necesidad de investigaciones orientadas al diseño pedagógico.

Desde una perspectiva empírica, múltiples estudios coinciden en que la IA generativa puede mejorar el rendimiento académico inmediato y la comprensión conceptual cuando se integra de forma planificada y reflexiva [7]. Sin embargo, también se ha demostrado que el uso no estructurado de estos sistemas puede inducir dependencia cognitiva, reducir la transferencia del aprendizaje y promover formas de pereza metacognitiva, especialmente cuando la IA sustituye procesos de razonamiento y autorregulación que deberían ser ejercidos por el estudiante [14]. Esta evidencia pone de manifiesto que el problema central no radica en la tecnología en sí, sino en la ausencia de marcos pedagógicos que orienten su uso hacia objetivos de aprendizaje profundo.

Asimismo, la literatura especializada resalta que, a pesar del creciente número de estudios sobre IA generativa en educación, existe una carencia significativa de frameworks pedagógicos operativos que articulen de manera coherente objetivos de aprendizaje, roles de la IA, secuencias didácticas y estrategias de evaluación auténtica. En el ámbito de la educación en ingeniería, el estudio de Cañavate y otros subrayan que la falta de modelos pedagógicos explícitos limita el impacto formativo de la IA y favorece usos instrumentales centrados en la automatización de tareas, en detrimento del desarrollo de competencias cognitivas de alto nivel [4]. De manera similar, revisiones sistemáticas recientes señalan que la mayoría de investigaciones se enfocan en percepciones o logros inmediatos, mientras que son escasos los estudios que evalúan la transferencia del conocimiento y el razonamiento profundo, particularmente en matemáticas [5].

Desde el punto de vista metodológico, esta brecha se ve agravada por la limitada utilización de instrumentos de evaluación orientados a la comprensión conceptual, la argumentación matemática y la metacognición. Estudios correlacionales y cuasi-experimentales suelen omitir estas dimensiones, lo que dificulta establecer conclusiones sólidas sobre el impacto real de la IA generativa en el aprendizaje matemático profundo [11]. En consecuencia, se requiere investigación que no solo proponga modelos teóricos, sino que también los valide empíricamente mediante diseños metodológicos rigurosos y evaluaciones auténticas.

Adicionalmente, la justificación de esta investigación se sustenta en consideraciones éticas e institucionales. Diversos autores advierten sobre riesgos asociados a sesgos, errores no detectados, desigualdad en el acceso y ausencia de regulación en el uso educativo de la IA generativa, lo que refuerza la necesidad de integrar principios de gobernanza, verificación y uso responsable dentro de cualquier propuesta pedagógica [2], [9]. En este sentido, un framework pedagógico no solo debe orientar la práctica docente, sino también ofrecer lineamientos para la gestión ética y formativa de la IA en contextos universitarios.

En síntesis, la presente investigación se justifica por la convergencia de tres necesidades fundamentales: (a) pedagógica, al requerirse modelos que promuevan aprendizaje matemático profundo con IA generativa; (b) científica, al existir una brecha en la literatura respecto a frameworks validados empíricamente que articulen diseño instruccional, evaluación y gestión de riesgos; y (c) institucional y social, al demandarse orientaciones claras para un uso responsable y equitativo de la IA en la formación de ingenieros. El diseño y validación de un framework pedagógico para aprendizaje matemático profundo con IA generativa busca atender estas necesidades, aportando evidencia y herramientas concretas para transformar el uso de la IA en matemáticas desde una perspectiva formativa, crítica y sostenible.

IV. OBJETIVOS

A. *Objetivo general*

Diseñar y fundamentar conceptualmente un framework pedagógico para promover el aprendizaje matemático profundo en educación en ingeniería mediante el uso de inteligencia artificial generativa, integrando principios didácticos, roles pedagógicos de la IA, secuencias de aprendizaje, estrategias de evaluación auténtica y criterios de gestión ética, como base para futuras validaciones empíricas.

B. *Objetivos específicos*

- 1) Analizar críticamente la literatura científica reciente sobre el uso de la inteligencia artificial generativa en la enseñanza de las matemáticas y disciplinas STEM, identificando enfoques pedagógicos, evidencias reportadas de aprendizaje profundo, limitaciones metodológicas y vacíos conceptuales.
- 2) Identificar y sistematizar principios pedagógicos y cognitivos asociados al aprendizaje matemático profundo que sean relevantes para la integración de la inteligencia artificial generativa en educación en ingeniería.
- 3) Definir los componentes pedagógicos fundamentales del framework, estableciendo los roles de la IA generativa, los patrones de interacción humano-IA, las secuencias didácticas y los mecanismos de andamiaje orientados al razonamiento matemático profundo.
- 4) Diseñar un modelo estructurado del framework pedagógico, que articule objetivos de aprendizaje,

actividades mediadas por IA generativa, estrategias de evaluación auténtica y criterios de gestión ética y pedagógica del uso de la IA.

5) Analizar, desde una perspectiva teórica, los riesgos, limitaciones y desafíos pedagógicos asociados al uso de IA generativa en la enseñanza de las matemáticas, incluyendo dependencia cognitiva, superficialidad del aprendizaje e integridad académica.

6) Proponer lineamientos pedagógicos e institucionales para la integración responsable de la inteligencia artificial generativa en la enseñanza de las matemáticas en educación en ingeniería, fundamentados en la evidencia científica analizada y en buenas prácticas reportadas en la literatura.

V. METODOLOGÍA

A. *Enfoque y tipo de investigación*

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo, con un diseño no experimental de carácter teórico-conceptual, orientado al diseño y fundamentación conceptual de un framework pedagógico para promover el aprendizaje matemático profundo mediante el uso de inteligencia artificial generativa en educación en ingeniería. El estudio se sitúa en una fase exploratoria y de modelización teórica, constituyendo la primera etapa de una línea de investigación más amplia que contempla, en trabajos futuros, la implementación y validación empírica del framework propuesto.

Este enfoque resulta adecuado cuando el propósito de la investigación es integrar conocimiento existente, identificar principios de diseño y proponer modelos conceptuales transferibles, sin intervenir directamente en contextos educativos ni en poblaciones de estudio [15], [16].

B. *Diseño metodológico*

El diseño metodológico se basa en una síntesis integrativa de la literatura científica, combinada con elementos de investigación orientada al diseño en su fase conceptual (design-oriented research). A diferencia de los estudios de Design-Based Research aplicados, esta investigación se concentra en la construcción del artefacto teórico (framework), apoyándose en evidencia empírica secundaria proveniente de investigaciones previas [17].

Asimismo, se adopta un enfoque de análisis crítico e interpretativo, que permite trascender la descripción de estudios individuales para generar categorías conceptuales, principios pedagógicos y relaciones funcionales entre los componentes del framework [18].

C. *Procedimiento de investigación*

El procedimiento metodológico se desarrolló en cuatro etapas secuenciales:

Etapla 1: Delimitación y selección del corpus bibliográfico. Se conformó un corpus de artículos científicos recientes relacionados con: inteligencia artificial generativa en educación, aprendizaje profundo, enseñanza de las matemáticas y educación en ingeniería. La selección priorizó estudios empíricos, revisiones sistemáticas y marcos conceptuales publicados entre 2023 y 2026 en bases de datos académicas indexadas. Esta etapa siguió recomendaciones metodológicas para revisiones orientadas al desarrollo conceptual, asegurando relevancia, actualidad y diversidad metodológica de las fuentes [19].

Etapla 2: Análisis crítico y categorización temática. Los artículos seleccionados fueron analizados mediante un análisis temático–interpretativo, identificando patrones recurrentes, convergencias, contradicciones y vacíos conceptuales en relación con: principios pedagógicos asociados al aprendizaje matemático profundo, roles y funciones atribuidas a la IA generativa, tipos de interacción humano–IA, enfoques de evaluación reportados y riesgos cognitivos, pedagógicos y éticos. Este procedimiento permitió organizar la evidencia en categorías analíticas de nivel superior, de acuerdo con lineamientos para el análisis cualitativo de literatura científica [20].

Etapla 3: Síntesis conceptual y diseño del framework. A partir de los resultados del análisis crítico, se realizó una síntesis conceptual integradora, orientada a: sistematizar principios cognitivos y pedagógicos relevantes, definir dimensiones, componentes y relaciones del framework pedagógico, articular objetivos de aprendizaje, roles de la IA, secuencias didácticas y estrategias de evaluación auténtica. El framework se diseñó como un modelo prescriptivo, es decir, un conjunto estructurado de orientaciones que guían el diseño pedagógico, siguiendo criterios de coherencia interna, claridad conceptual y transferibilidad a distintos contextos educativos [16].

Etapla 4: Validación conceptual y consistencia teórica. La validación del framework se realizó a nivel conceptual y lógico, evaluando: coherencia entre los componentes del modelo, alineamiento con teorías consolidadas del aprendizaje profundo, la metacognición y el andamiaje cognitivo, correspondencia entre el framework propuesto y la evidencia científica analizada, capacidad del modelo para abordar los riesgos pedagógicos identificados en la literatura. Este tipo de validación teórica es habitual en estudios de propuesta de frameworks y modelos conceptuales, especialmente cuando la validación empírica se plantea como trabajo futuro [17], [18].

D. Alcance y delimitaciones del estudio

El alcance de la investigación se limita al diseño y fundamentación conceptual del framework pedagógico, por lo que: no se implementa el framework en cursos o programas académicos, no se involucra a estudiantes ni docentes, no se realizan mediciones de impacto en el aprendizaje. La

aplicación y validación empírica del framework mediante estudios de intervención educativa se plantean explícitamente como líneas futuras de investigación, derivadas del presente trabajo.

E. Consideraciones éticas

Dado que la investigación no involucra participantes humanos ni datos personales, no fue necesario obtener consentimiento informado. No obstante, se respetaron principios de integridad académica, rigor en el uso de fuentes y transparencia en la síntesis y reinterpretación de la literatura, en concordancia con recomendaciones sobre ética y gobernanza de la inteligencia artificial en educación [2].

VI. FRAMEWORK PEDAGÓGICO PARA EL APRENDIZAJE MATEMÁTICO PROFUNDO CON IA GENERATIVA

A. Enfoque general del framework

El framework pedagógico propuesto se concibe como un modelo conceptual prescriptivo orientado a guiar el diseño de experiencias de enseñanza de las matemáticas en educación en ingeniería mediante el uso intencional y regulado de inteligencia artificial generativa (IA generativa). Su propósito central es promover el aprendizaje matemático profundo, entendido como la integración de comprensión conceptual, transferencia del conocimiento, argumentación matemática y metacognición, evitando usos instrumentales de la IA centrados únicamente en la resolución automática de tareas.

A diferencia de aproximaciones tecnocéntricas, este framework se fundamenta en el principio de que la IA generativa no sustituye el razonamiento matemático, sino que actúa como mediador cognitivo y pedagógico, cuyo impacto depende de la estructura didáctica, los roles asignados y los mecanismos de verificación y reflexión incorporados [4], [14].

B. Principios pedagógicos que sustentan el framework

El diseño del framework se apoya en cinco principios pedagógicos fundamentales, identificados y sistematizados a partir del análisis crítico de la literatura:

- 1) El framework prioriza la comprensión conceptual, la explicación y la transferencia del conocimiento por encima de la obtención rápida de respuestas, en coherencia con la evidencia que muestra que la inteligencia artificial generativa puede mejorar el desempeño inmediato sin garantizar aprendizaje duradero ni transferencia conceptual cuando no existe andamiaje pedagógico explícito [7], [14].
- 2) Alineamiento constructivo. Existe coherencia explícita entre objetivos de aprendizaje, actividades mediadas por IA y estrategias de evaluación auténtica, evitando desajustes que favorezcan aprendizajes superficiales [21].
- 3) Andamiaje cognitivo gradual. La IA generativa se integra como un apoyo progresivo dentro de la zona de desarrollo próximo, promoviendo la autonomía intelectual del estudiante y evitando la dependencia cognitiva, en

consonancia con los principios clásicos del andamiaje y la mediación cognitiva [22], [23].

4) Metacognición y verificación sistemática. El framework incorpora mecanismos obligatorios de reflexión, autoexplicación y validación de resultados, atendiendo a los riesgos de sobreconfianza y errores no detectados reportados en la literatura [9].

5) Uso ético y pedagógicamente responsable de la IA. La integración de la IA se orienta por criterios de transparencia, integridad académica y equidad, reconociendo los riesgos éticos y de gobernanza asociados a estas tecnologías [2].

C. Estructura del framework pedagógico

El framework se organiza en cinco capas interrelacionadas, que articulan de manera coherente el diseño pedagógico, la interacción con la IA generativa y la evaluación del aprendizaje matemático profundo.

Capa 1: Intenciones de aprendizaje matemático profundo

Esta capa define los resultados formativos esperados, más allá del dominio procedimental. Incluye: comprensión conceptual de objetos matemáticos, establecimiento de conexiones entre conceptos, capacidad de transferencia a problemas no rutinarios, argumentación y justificación matemática y reflexión metacognitiva sobre el proceso de resolución. Estas intenciones orientan todas las decisiones posteriores del diseño pedagógico.

Capa 2: Roles pedagógicos de la IA generativa

La IA generativa asume roles pedagógicos explícitos, cuidadosamente delimitados, entre los que se incluyen: Tutor socrático: formula preguntas guiadas que conducen al razonamiento, sin ofrecer soluciones directas, andamio cognitivo: proporciona pistas graduadas y ejemplos parciales, verificador conceptual: revisa la coherencia lógica de razonamientos propuestos por el estudiante, generador de contraejemplos: desafía generalizaciones incorrectas y traductor de representaciones: conecta expresiones simbólicas, gráficas y verbales. La asignación de estos roles responde a la evidencia de que el diseño de la interacción humano-IA es determinante para la calidad del aprendizaje [6].

Capa 3: Patrones de interacción humano-IA

El framework define patrones de interacción pedagógicamente orientados, tales como: interacción basada en preguntas antes que en respuestas, restricción deliberada de soluciones completas, solicitud explícita de justificaciones y explicaciones, verificación cruzada de resultados y reflexión posterior a la interacción con la IA. Estos patrones buscan contrarrestar la pereza metacognitiva y promover pensamiento matemático de alto nivel.

Capa 4: Secuencias didácticas para aprendizaje profundo

Las actividades diseñadas bajo el framework se estructuran en secuencias conceptuales que integran: exploración conceptual: intuiciones, ejemplos y no-ejemplos; formalización: definición

rigurosa, propiedades y relaciones; transferencia: resolución de problemas nuevos o variaciones; argumentación: justificación de procedimientos y resultados; y reflexión metacognitiva: análisis del proceso seguido y errores cometidos. La IA generativa interviene de manera diferenciada en cada fase, evitando su uso homogéneo a lo largo de la secuencia.

Capa 5: Evaluación auténtica y gestión ética

Aunque el presente estudio no implementa evaluaciones empíricas, el framework propone criterios conceptuales para la evaluación auténtica, centrada en: explicaciones escritas y orales, resolución de problemas de transferencia, análisis de errores y contraejemplos y evidencias de reflexión metacognitiva. Asimismo, esta capa incorpora lineamientos éticos para el uso responsable de la IA, incluyendo transparencia en su utilización, prevención del plagio y promoción de la equidad en el acceso.

El framework pedagógico propuesto constituye un modelo conceptual transferible, aplicable a distintos cursos de matemáticas en educación en ingeniería y adaptable a diversos contextos institucionales. Su validación empírica mediante estudios de intervención educativa se plantea explícitamente como fase posterior de investigación, lo que refuerza su carácter fundacional y su utilidad como base para trabajos futuros. La contribución principal de esta propuesta radica en ofrecer un marco pedagógico integrador, que articula evidencia científica reciente, principios didácticos consolidados y una visión ética del uso de la IA generativa. De este modo, el framework busca orientar el tránsito desde un uso instrumental de la IA hacia un uso formativo, reflexivo y sostenible, alineado con las demandas cognitivas y profesionales de la educación en ingeniería.

La Figura 1 presenta una representación esquemática del framework pedagógico para el aprendizaje matemático profundo con IA generativa propuesto en este estudio. El diagrama sintetiza visualmente la estructura conceptual del framework, organizado en cinco capas jerárquicas e interrelacionadas, que articulan intenciones formativas, diseño pedagógico, interacción humano-IA y consideraciones éticas.

Tal como se muestra en la Figura 1, el framework adopta una lógica de flujo vertical, donde cada capa condiciona y orienta a la siguiente, reforzando el principio de alineamiento constructivo entre objetivos, actividades y evaluación [21]. En la capa superior se sitúan las intenciones de aprendizaje matemático profundo, que definen los resultados cognitivos esperados, mientras que las capas intermedias operacionalizan dichas intenciones mediante roles pedagógicos explícitos de la IA generativa, patrones de interacción humano-IA y secuencias didácticas orientadas a la comprensión, transferencia y argumentación matemática. Finalmente, la

capa inferior integra criterios de evaluación auténtica y gestión ética, que atraviesan transversalmente todo el modelo.



Figura 1. Framework para el aprendizaje matemático profundo con IA generativa

D. Ejemplo de aplicación del framework en un curso de Cálculo

Con el propósito de ilustrar la aplicabilidad práctica del framework propuesto, se presenta un ejemplo hipotético correspondiente a una unidad de aprendizaje sobre optimización de funciones en un curso de Cálculo Diferencial para estudiantes de primer año de ingeniería.

En la primera capa del framework, las intenciones de aprendizaje se orientan a que los estudiantes comprendan el significado geométrico y analítico de los máximos y mínimos, transfieran estos conceptos a problemas de ingeniería y desarrollen capacidad de argumentación matemática sobre las soluciones obtenidas.

En la segunda capa, la inteligencia artificial generativa asume el rol de tutor socrático y andamio cognitivo. En lugar de proporcionar directamente la solución del problema, la IA formula preguntas orientadoras como: “¿Qué representa la función objetivo?”, “¿Qué restricciones existen en el problema?” o “¿Cómo podría interpretarse físicamente el punto crítico obtenido?”.

En la tercera capa, la interacción humano-IA se estructura mediante preguntas guiadas y justificaciones obligatorias. Los

estudiantes deben explicar cada paso de su razonamiento antes de solicitar retroalimentación a la IA, evitando la dependencia de respuestas automáticas.

En la cuarta capa, la secuencia didáctica comprende cinco etapas: exploración conceptual mediante ejemplos y contraejemplos; formalización de los criterios de optimización; resolución de problemas de transferencia vinculados a contextos de ingeniería; argumentación matemática de las soluciones obtenidas; y reflexión metacognitiva sobre las estrategias utilizadas.

Finalmente, en la quinta capa, la evaluación auténtica se centra en la calidad de las explicaciones, la capacidad de justificar decisiones matemáticas, la transferencia a situaciones nuevas y la reflexión crítica sobre el uso de la IA durante el proceso de resolución.

Este ejemplo evidencia cómo los componentes del framework pueden articularse para transformar la IA generativa en una herramienta de mediación cognitiva orientada al aprendizaje matemático profundo y no únicamente a la obtención de respuestas correctas.

VII. CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar y fundamentar conceptualmente un framework pedagógico para promover el aprendizaje matemático profundo mediante el uso de inteligencia artificial generativa en educación en ingeniería. A partir de una síntesis integrativa y un análisis crítico de la literatura científica reciente, el estudio permitió identificar una brecha relevante entre el rápido avance de las tecnologías generativas y la disponibilidad de modelos pedagógicos explícitos que orienten su uso hacia objetivos formativos de alto nivel cognitivo.

Una primera conclusión del estudio es que la literatura coincide en señalar que la inteligencia artificial generativa, cuando se emplea sin una estructura pedagógica clara, tiende a favorecer el rendimiento inmediato y la resolución eficiente de tareas, sin garantizar necesariamente comprensión conceptual, transferencia del conocimiento ni desarrollo de la argumentación matemática. Este hallazgo es consistente con estudios empíricos y revisiones sistemáticas que advierten sobre el riesgo de aprendizajes superficiales y dependencia cognitiva en contextos educativos altamente formalizados como las matemáticas [5], [14]. En consecuencia, se evidencia la necesidad de marcos pedagógicos que regulen de manera explícita el rol de la IA en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

En este contexto, el principal aporte de la investigación es la propuesta de un framework pedagógico estructurado y conceptualmente fundamentado, que integra principios del aprendizaje matemático profundo, teorías del andamiaje

cognitivo y enfoques contemporáneos sobre el uso pedagógico de la inteligencia artificial. El framework se organiza en cinco capas interrelacionadas que permiten articular de manera coherente las intenciones de aprendizaje, los roles pedagógicos de la IA generativa, los patrones de interacción humano-IA, las secuencias didácticas y los criterios de evaluación auténtica y gestión ética. Esta estructura proporciona una visión sistemática que supera aproximaciones fragmentadas o exclusivamente tecnológicas.

Otra conclusión relevante es que el diseño de la interacción humano-IA emerge como un factor crítico para el logro del aprendizaje matemático profundo. La evidencia revisada indica que la IA generativa puede contribuir positivamente al razonamiento matemático solo cuando se le asignan roles pedagógicos específicos y se exige al estudiante justificar, contrastar y reflexionar sobre los resultados generados [6]. En este sentido, el framework propuesto ofrece una contribución teórica al operacionalizar estos elementos en un modelo prescriptivo, orientado a la mediación cognitiva y no a la sustitución del razonamiento humano.

Asimismo, el estudio concluye que la metacognición y la evaluación auténtica constituyen dimensiones centrales que han sido insuficientemente abordadas en gran parte de la investigación previa sobre IA generativa en educación. La predominancia de evaluaciones basadas en desempeño inmediato limita la comprensión del impacto real de estas tecnologías en el aprendizaje profundo. Frente a esta limitación, el framework incorpora criterios conceptuales de evaluación centrados en la explicación, la argumentación y la reflexión sobre el proceso de aprendizaje, alineándose con enfoques pedagógicos consolidados como el alineamiento constructivo [21].

Desde una perspectiva ética e institucional, la investigación permite concluir que la integración de la inteligencia artificial generativa en la enseñanza de las matemáticas no puede abordarse únicamente desde el aula. La literatura analizada resalta la necesidad de considerar aspectos relacionados con integridad académica, transparencia, sesgos algorítmicos y equidad en el acceso a la tecnología [2]. En respuesta a ello, el framework incorpora una capa específica de gestión ética, que aporta una base conceptual para el desarrollo de políticas institucionales y lineamientos de uso responsable de la IA en educación superior.

Finalmente, es importante subrayar que el presente estudio se sitúa deliberadamente en una fase conceptual y fundacional. El framework propuesto no pretende demostrar efectividad empírica, sino establecer una base teórica sólida, coherente y transferible que oriente futuras investigaciones de implementación y validación. En este sentido, las conclusiones del estudio refuerzan la idea de que el valor del trabajo reside en su capacidad para organizar el conocimiento existente, identificar principios de diseño pedagógico y ofrecer un

modelo integrador que sirva como referencia para investigadores, docentes y responsables de políticas educativas.

En conjunto, esta investigación contribuye al campo de la educación en ingeniería al proponer un enfoque pedagógico sistemático para la integración de la inteligencia artificial generativa en la enseñanza de las matemáticas, desplazando el énfasis desde el uso instrumental de la tecnología hacia el desarrollo de aprendizajes profundos, reflexivos y éticamente responsables. El framework desarrollado constituye, por tanto, un punto de partida sólido para avanzar hacia una integración más crítica, pedagógicamente informada y sostenible de la IA generativa en la formación de ingenieros.

VIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Si bien el presente estudio aporta un framework pedagógico conceptualmente fundamentado para el aprendizaje matemático profundo con inteligencia artificial generativa, es necesario reconocer una serie de limitaciones inherentes a su enfoque metodológico, las cuales deben ser consideradas al interpretar sus alcances y contribuciones.

En primer lugar, la principal limitación del estudio radica en su naturaleza teórico-conceptual, que no incluye la implementación ni la validación empírica del framework en contextos reales de enseñanza de las matemáticas en educación en ingeniería. En consecuencia, no se dispone de evidencia directa sobre el impacto del framework en variables como la comprensión conceptual, la transferencia del conocimiento, la argumentación matemática o la metacognición de los estudiantes. Esta delimitación responde a una decisión metodológica consciente, alineada con enfoques de investigación orientados al diseño conceptual, donde la construcción del modelo precede a su contrastación empírica [17], [18].

En segundo lugar, el framework se fundamenta en una síntesis integrativa de literatura científica reciente, lo que implica que sus principios, componentes y relaciones se derivan de evidencia empírica secundaria. Si bien este enfoque es adecuado para la construcción de modelos teóricos y permite identificar patrones y vacíos conceptuales, también conlleva el riesgo de depender de estudios previos que presentan heterogeneidad metodológica, diferencias contextuales y, en algunos casos, limitaciones en el rigor de la evaluación del aprendizaje profundo. Revisiones recientes han señalado que gran parte de la investigación sobre IA generativa en educación se centra en percepciones o medidas de rendimiento inmediato, lo que restringe la generalización de conclusiones sobre aprendizaje profundo [5].

Otra limitación relevante se relaciona con la variabilidad conceptual del término “aprendizaje profundo” en la literatura.

A pesar de los esfuerzos por operacionalizar este constructo mediante dimensiones como comprensión conceptual, transferencia, argumentación y metacognición, no existe un consenso único sobre sus indicadores ni sobre los instrumentos más adecuados para su evaluación. Esta diversidad conceptual, ampliamente reconocida en estudios sobre aprendizaje profundo en matemáticas y educación en ingeniería, puede influir en la interpretación y futura implementación del framework [21].

Asimismo, el framework propuesto no considera de manera exhaustiva las condiciones institucionales, tecnológicas y culturales que pueden afectar su adopción en contextos educativos específicos. Factores como la disponibilidad de infraestructura tecnológica, las políticas institucionales sobre el uso de IA, la formación docente y las actitudes hacia la automatización del aprendizaje pueden influir significativamente en la efectividad del modelo. La literatura reciente advierte que la ausencia de estos factores contextuales puede limitar la escalabilidad y sostenibilidad de propuestas pedagógicas basadas en IA [2].

Finalmente, aunque el estudio incorpora principios éticos y lineamientos para el uso responsable de la IA generativa, no profundiza en mecanismos operativos de gobernanza, auditoría algorítmica o regulación institucional, los cuales requieren análisis interdisciplinarios adicionales y marcos normativos específicos. Esta limitación abre un espacio claro para investigaciones futuras que integren perspectivas legales, organizacionales y sociotécnicas en el diseño de frameworks pedagógicos con IA.

IX. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio establece una base conceptual para la integración pedagógicamente orientada de la inteligencia artificial generativa en la enseñanza de las matemáticas en educación en ingeniería. A partir de los resultados obtenidos y de las limitaciones identificadas, se abren diversas líneas futuras de investigación que permitirán ampliar, profundizar y validar empíricamente el framework propuesto.

Una primera línea de investigación prioritaria consiste en la implementación y validación empírica del framework pedagógico en contextos reales de enseñanza de las matemáticas en educación en ingeniería. Esta etapa implicaría el diseño de estudios cuasi-experimentales o de intervención educativa que permitan evaluar el impacto del framework en dimensiones clave del aprendizaje matemático profundo, tales como la comprensión conceptual, la transferencia del conocimiento, la calidad de la argumentación matemática y la metacognición. La literatura reciente enfatiza la necesidad de avanzar desde propuestas conceptuales hacia evaluaciones empíricas rigurosas que superen las mediciones de

rendimiento inmediato y permitan analizar aprendizajes sostenidos [5], [14].

Una segunda línea de investigación se orienta al diseño y validación de instrumentos de evaluación auténtica específicamente alineados con el framework propuesto. Dado que el aprendizaje matemático profundo es un constructo complejo y multidimensional, resulta necesario desarrollar herramientas que capturen procesos de razonamiento, explicación y reflexión metacognitiva, más allá de pruebas tradicionales de desempeño. Esta línea contribuiría a superar una de las principales debilidades identificadas en la literatura sobre IA generativa en educación, relacionada con la falta de métricas válidas y consistentes para evaluar aprendizaje profundo [21].

En tercer lugar, futuras investigaciones podrían explorar la variabilidad del impacto del framework en distintos niveles y áreas de la formación en ingeniería, considerando cursos introductorios y avanzados, así como diferentes dominios matemáticos (álgebra, cálculo, probabilidad, modelación, entre otros). Este enfoque permitiría analizar la adaptabilidad y transferibilidad del framework a distintos contextos curriculares, respondiendo a la heterogeneidad de prácticas pedagógicas reportadas en la literatura [7].

Otra línea relevante de investigación se vincula con el estudio de los patrones de interacción humano-IA y del diseño de prompts pedagógicos. Investigaciones futuras podrían analizar cómo diferentes estrategias de interacción y niveles de restricción en el uso de la IA influyen en el desarrollo del razonamiento matemático profundo y la autorregulación del aprendizaje. En particular, sería pertinente examinar el rol del prompt engineering como herramienta pedagógica y su relación con la metacognición y la transferencia del conocimiento [6].

Desde una perspectiva institucional y ética, se identifica como línea futura el análisis de modelos de gobernanza y políticas educativas que regulen el uso de la inteligencia artificial generativa en la enseñanza de las matemáticas. Estudios interdisciplinarios que integren enfoques pedagógicos, organizacionales y normativos permitirían operacionalizar los lineamientos éticos propuestos en el framework y evaluar su viabilidad en distintos entornos institucionales [1], [2].

Finalmente, se propone como línea de investigación emergente el análisis longitudinal del impacto del uso regulado de la IA generativa en el desarrollo de competencias profesionales en ingeniería, tales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas complejos y la toma de decisiones fundamentadas. Este enfoque permitiría evaluar si los beneficios del framework trascienden el ámbito académico y contribuyen a la formación de ingenieros capaces de interactuar de manera crítica y responsable con sistemas de inteligencia artificial a lo largo de su vida profesional.

REFERENCES

- [1] M. Lam *et al.*, «Undergraduate Nursing Students' Perspectives on Artificial Intelligence in Academia», *Can. J. Nurs. Res.*, vol. 57, n.º 4, pp. 507-516, dic. 2025, doi: 10.1177/08445621251347025.
- [2] K. Wach *et al.*, «The dark side of generative artificial intelligence: A critical analysis of controversies and risks of ChatGPT», *Entrep. Bus. Econ. Rev.*, vol. 11, n.º 2, pp. 7-30, jun. 2023, doi: 10.15678/EBER.2023.110201.
- [3] M. Fan, S. A. Qalati, M. A. S. Khan, S. M. M. Shah, M. Ramzan, y R. S. Khan, «Effects of entrepreneurial orientation on social media adoption and SME performance: The moderating role of innovation capabilities», *PLOS ONE*, vol. 16, n.º 4, p. e0247320, abr. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0247320.
- [4] J. Cañavate, E. Martínez-Marroquín, y X. Colom, «Engineering a Sustainable Future Through the Integration of Generative AI in Engineering Education», *Sustainability*, vol. 17, n.º 7, abr. 2025, doi: 10.3390/su17073201.
- [5] A. Alfarwan, «Generative AI use in K-12 education: a systematic review», *Front. Educ.*, vol. 10, sep. 2025, doi: 10.3389/educ.2025.1647573.
- [6] M. Shen, Y. Shen, F. Liu, y J. Jin, «Prompts, privacy, and personalized learning: integrating AI into nursing education—a qualitative study», *BMC Nurs.*, vol. 24, n.º 1, p. 470, abr. 2025, doi: 10.1186/s12912-025-03115-8.
- [7] M. S. Gunsaldi, E. G. Guner, M. Uckan, y K. Bati, «The Impact of Generative AI Applications on Student Learning Outcomes in Science Education: A Systematic Review», *J. Educ. Sci. Environ. Health*, vol. 11, n.º 3, pp. 196-208, jun. 2025, doi: 10.55549/jeseh.840.
- [8] T. Mansour y J. Wong, «Enhancing fieldwork readiness in occupational therapy students with generative AI», *Front. Med.*, vol. 11, oct. 2024, doi: 10.3389/fmed.2024.1485325.
- [9] R. Janumpally, S. Nanua, A. Ngo, y K. Youens, «Generative artificial intelligence in graduate medical education», *Front. Med.*, vol. 11, ene. 2025, doi: 10.3389/fmed.2024.1525604.
- [10] E. B. Uchôa Cavalcanti, «From Brain to Being», *Neurol. Educ.*, vol. 4, n.º 3, p. e200245, sep. 2025, doi: 10.1212/NE9.0000000000200245.
- [11] F. G. M. Amer *et al.*, «Artificial Intelligence-Based Chatbots' and Nursing Students' Academic Performance: The Mediating Role of Technophobia and Technophilia», *Int. Nurs. Rev.*, vol. 72, n.º 3, p. e70056, 2025, doi: 10.1111/inr.70056.
- [12] A. Tang, K.-K. Li, K. O. Kwok, L. Cao, S. Luong, y W. Tam, «The importance of transparency: Declaring the use of generative artificial intelligence (AI) in academic writing», *J. Nurs. Scholarsh.*, vol. 56, n.º 2, pp. 314-318, 2024, doi: 10.1111/jnu.12938.
- [13] Q. M. Catalina *et al.*, «Knowledge and perception of primary care healthcare professionals on the use of artificial intelligence as a healthcare tool», *Digit. Health*, vol. 9, p. 20552076231180511, ene. 2023, doi: 10.1177/20552076231180511.
- [14] Y. Fan *et al.*, «Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance», *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 56, n.º 2, pp. 489-530, 2025, doi: 10.1111/bjet.13544.
- [15] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE, 2014.
- [16] J. Meredith, «Theory Building through Conceptual Methods», *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 13, n.º 5, Emerald Publishing, 1 de mayo de 1993. doi: <https://doi.org/10.1108/01443579310028120>.
- [17] T. Reeves, «Design research from a technology perspective», en *Educational Design Research*, Routledge, 2006.
- [18] R. J. Torraco, «Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples», *Hum. Resour. Dev. Rev.*, vol. 4, n.º 3, pp. 356-367, sep. 2005, doi: 10.1177/1534484305278283.
- [19] B. Kitchenham y S. Charters, «Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering | BibSonomy», Keele University and Durham University Joint Report, jul. 2007. Accedido: 31 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.bibsonomy.org/bibtex/aed0229656ada843d3e3f24e5e5c9eb9>
- [20] V. Braun y V. Clarke, «Using thematic analysis in psychology», *Qual. Res. Psychol.*, vol. 3, n.º 2, pp. 77-101, ene. 2006, doi: 10.1191/1478088706qp063oa.
- [21] J. Biggs y C. Tang, *Teaching for Quality Learning at University*. McGraw-Hill Education, 2007.
- [22] L. S. Vygotsky, *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press, 1980. doi: 10.2307/j.ctvjf9vz4.
- [23] D. Wood, J. S. Bruner, y G. Ross, «The Role of Tutoring in Problem Solving», *J. Child Psychol. Psychiatry*, vol. 17, n.º 2, pp. 89-100, 1976, doi: 10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x.