
Estrategia didáctica basada en inteligencia artificial para el fortalecimiento de habilidades del siglo XXI en el aula de matemáticas

Nasly Yuriana Robles Amaya¹

RESUMEN

Este estudio presenta el diseño e implementación de una intervención didáctica basada en inteligencia artificial para fortalecer las habilidades del siglo XXI en el aula de matemáticas de décimo grado en el Colegio Nacionalizado Femenino de Villavicencio, Colombia. La investigación adopta un enfoque mixto con diseño de investigación-acción. La muestra consta de 111 estudiantes: grupo experimental (54) y grupo control (57). La intervención incluyó el desarrollo del tutor virtual Profe *STEMila* basado en GPT, plataformas adaptativas como Khan *Academy* y herramientas interactivas como GeoGebra, integradas en un enfoque pedagógico fundamentado en el constructivismo social y el conectivismo. Los hallazgos revelan mejoras del 30 % en pensamiento crítico y resolución de problemas, 25 % en alfabetización digital y 20 % en participación activa. El análisis inferencial confirmó diferencias estadísticas significativas con tamaños del

efecto entre grande y muy grande. El análisis cualitativo mediante teoría fundamentada reveló constructos emergentes como la agencia epistémica digital y la metacognición tecnológica. El estudio demuestra que la integración pedagógica de la IA en matemáticas contribuye a disminuir la brecha de género en *STEM*.

Palabras clave: habilidades del siglo XXI, inteligencia artificial educativa, didáctica de las matemáticas, educación media, equidad de género en *STEM*.

ABSTRACT

This study presents the design and implementation of a didactic intervention based on artificial intelligence to strengthen 21st-century skills in tenth-grade mathematics at Colegio Nacionalizado Femenino de Villavicencio, Colombia. The research adopts a mixed-methods approach with action research design. The sample consists of 111 students: experimental

¹ Docente del Colegio Nacionalizado Femenino de Villavicencio, Colombia. Doctorando en Investigación en Ciencias de la Educación. Correo electrónico: naslyroblesages@gmail.com. Artículo donde se muestran los resultados principales del trabajo de investigación, llevados a cabo para optar por el título científico de Doctor en Investigación en Ciencias de la Educación, otorgado por el Instituto Superior de Informática y Computación ISIC, (Tepic-Nayarit, México).

group (54) and control group (57). The intervention included the development of the virtual tutor Profe STEMila based on GPT, adaptive platforms such as Khan Academy, and interactive tools like GeoGebra, integrated into a pedagogical approach grounded in social constructivism and connectivism. Findings reveal 30 % improvement in critical thinking and problem-solving, 25 % in digital literacy, and 20 % in active participation. Inferential analysis confirmed statistically significant differences with effect sizes ranging from large to very large. Qualitative analysis through grounded theory revealed emerging constructs such as digital epistemic agency and technological metacognition. The study demonstrates that pedagogical integration of AI in mathematics contributes to reducing the gender gap in *STEM*.

Keywords: 21st-century skills, educational artificial intelligence, mathematics didactics, secondary education, gender equity in *STEM*.

INTRODUCCIÓN

La integración de la inteligencia artificial en la educación matemática constituye una de las áreas de investigación más prometedoras en el panorama académico actual. Las habilidades del siglo XXI se han convertido en una prioridad para los sistemas educativos en un contexto de rápida transformación tecnológica. El pensamiento crítico, la creatividad, la colaboración, la comunicación efectiva y las competencias digitales resultan fundamentales para equipar a las nuevas generaciones ante las demandas de una sociedad digitalizada (Binkley *et al.*, 2012; Fadel *et al.*, 2015).

Estudios internacionales han documentado el potencial transformador de la inteligencia artificial en educación. VanLehn (2011) concluyó que los tutores basados en IA logran resultados cercanos a la capacidad de un tutor humano cuando se utiliza un diseño adecuado. En América Latina, Cabero-Almenara y

Llorente-Cejudo (2018) reportaron un aumento del 35 % en alfabetización digital al emplear enfoques estructurados con tecnologías emergentes. En Colombia, Martínez y González (2022) documentaron mejoras del 28 % en resolución de problemas matemáticos y 31 % en pensamiento crítico en instituciones de Bogotá.

La brecha de género en áreas *STEM* ha sido documentada de forma amplia. Hill *et al.* (2010) encontraron que las intervenciones tecnológicas con perspectiva de género reducen esta brecha hasta en un 40 %. Luckin *et al.* (2016) demostraron que es posible implementar soluciones de IA efectivas incluso con conectividad intermitente, mediante estrategias de procesamiento híbrido. En el Meta, Rodríguez-Pérez (2020) encontró que solo el 15 % de las instituciones de Villavicencio utilizaba herramientas digitales para algo más que procesadores de texto.

Planteamiento del problema

La problemática se manifiesta en el Colegio Nacionalizado Femenino de Villavicencio, institución pública que atiende de modo exclusivo a la población femenina. El currículo de matemáticas enfatiza competencias lógico-matemáticas, pero no cuenta con estrategias basadas en IA ni metodologías activas que desarrollen de forma sistemática las habilidades del siglo XXI.

Los resultados de las pruebas Saber 11 en 2022 muestran puntajes por debajo del promedio nacional en matemáticas (ICFES, 2022). Según MinTIC (2021), más del 60 % de las instituciones públicas carecen de infraestructura tecnológica adecuada.

Pregunta de investigación

¿Cómo mejorar las habilidades del siglo XXI en el aula de matemáticas de décimo grado en la Escuela Nacionalizada Femenina de Villavicencio a través de una estrategia didáctica facilitada por inteligencia artificial?

Objetivos

El objetivo principal es proponer una estrategia didáctica para fortalecer las habilidades del siglo XXI en el aula de matemáticas de décimo grado, apoyada por inteligencia artificial. Los objetivos específicos incluyen: fundamentar desde el punto de vista teórico las habilidades del siglo XXI, diagnosticar el alcance y las limitaciones en su apropiación, diseñar la estrategia didáctica, implementarla en el contexto escolar y validar su efectividad a través de análisis cuantitativos y cualitativos.

Hipótesis

La aplicación de una estrategia didáctica asistida por herramientas de inteligencia artificial permite un aprendizaje personalizado, fomenta la colaboración y proporciona retroalimentación en tiempo real, lo que fortalece las habilidades del siglo XXI y reduce la brecha de género en el aula de matemáticas.

Fundamentación epistemológica

Este marco teórico proporciona una base sólida para la investigación sobre el desarrollo de habilidades del siglo XXI a través de la inteligencia artificial. En un mundo digitalizado, es esencial que los estudiantes adquieran no solo conocimientos matemáticos disciplinarios, sino también competencias para enfrentar desafíos futuros (Fadel *et al.*, 2015). La investigación se basa en el paradigma socio-crítico, articulado con el Plan Nacional Decenal de Educación de Colombia 2016-2026 (MEN, 2017).

Teorías del aprendizaje

El constructivismo (Piaget, 1952; Vygotsky, 1978) postula que el aprendizaje es un proceso activo de construcción de conocimiento. La zona de desarrollo próximo de Vygotsky es relevante para entender el papel de la IA como andamiaje cognitivo: la IA actúa como un mediador que apoya al estudiante con orientación adaptativa.

El conectivismo de Siemens (2013) concibe el aprendizaje como la formación de redes que conectan nodos de información especializada. La teoría de la carga cognitiva de Sweller (2011) sustenta el diseño de interfaces mediadas por IA.

Habilidades del siglo XXI

Binkley *et al.* (2012), en el marco del proyecto ATC21S, proponen una taxonomía que organiza estas competencias en: formas de pensar (creatividad, pensamiento crítico, resolución de problemas), formas de trabajar (comunicación, colaboración), herramientas para trabajar (alfabetización informacional y en TIC) y formas de vivir en el mundo. El Partnership for 21st Century Skills (2019) identifica las competencias fundamentales para el éxito en la sociedad contemporánea.

Inteligencia artificial en educación

Luckin *et al.* (2016) describen la IA educativa como sistemas informáticos capaces de realizar tareas que requieren inteligencia humana, utilizados en situaciones de enseñanza. El aprendizaje adaptativo implica algoritmos que cambian el contenido, el orden o el nivel de dificultad según las necesidades de diferentes estudiantes (Kumar *et al.*, 2019).

Los sistemas de tutoría inteligente (ITS) ofrecen experiencias personalizadas y VanLehn (2011) informó que ofrecen una efectividad comparable a la tutoría humana experta. El auge de los modelos de lenguaje a gran escala, como las arquitecturas con GPT subyacente, ha permitido nuevas posibilidades en la educación matemática a través de interacciones adaptables y relevantes desde el punto de vista contextual. Hwang *et al.* (2020) conecta la teoría de la autodeterminación con la teoría de la carga cognitiva para facilitar la motivación y el rendimiento en matemáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque y diseño metodológico

La investigación adopta un enfoque mixto que integra

métodos cuantitativos y cualitativos (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). El diseño corresponde a investigación-acción, que permite la comprensión y transformación simultánea de la práctica educativa (Anderson y Shattuck, 2012). La investigación es aplicada, longitudinal (8 semanas), explicativa y mixta.

Participantes

La población está conformada por estudiantes de décimo grado del Colegio Nacionalizado Femenino de Villavicencio durante el período 2024-2025. Se trabajó con una muestra intencional de 111 estudiantes: grupo experimental (54 estudiantes de 10.1 y 10.2) y grupo control (57 estudiantes que continuaron con metodología tradicional). Los criterios de inclusión fueron: participación voluntaria, asistencia regular y acceso a recursos tecnológicos.

VARIABLES E INSTRUMENTOS

La variable independiente es la estrategia didáctica basada en IA, operacionalizada mediante el tutor virtual STEMila (tecnología GPT), plataformas adaptativas (Khan Academy), herramientas interactivas (GeoGebra) y actividades colaborativas mediadas por tecnología.

La variable dependiente es el desarrollo de habilidades del siglo XXI, medida en cinco dimensiones: pensamiento crítico, resolución de problemas, creatividad, trabajo colaborativo y alfabetización digital. Se diseñó y validó una Escala de Habilidades del Siglo XXI (40 ítems, formato Likert de 5 puntos).

El coeficiente Alfa de Cronbach arrojó valores superiores a 0.78 en todas las dimensiones y 0.91 para la escala total (George y Mallery, 2003). Para datos cualitativos se utilizaron entrevistas semiestructuradas (6 estudiantes) y observaciones sistemáticas de clase.

La estrategia didáctica STEMila

El tutor virtual Profe STEMila, basado en tecnología

GPT, fue diseñado para acompañar el aprendizaje de matemáticas de forma personalizada, dinámica y flexible. Su arquitectura se organizó en módulos temáticos: funciones (lineales, cuadráticas, racionales, exponenciales), geometría y trigonometría y cálculo diferencial.

Cada módulo ofrece explicaciones graduales, ejemplos paso a paso, preguntas de autoevaluación y retroalimentación instantánea. Se utilizó en modo sincrónico (durante clases presenciales) y asincrónico (aprendizaje autónomo).

Técnicas de análisis

Para el análisis cuantitativo se emplearon estadísticos descriptivos, prueba de normalidad Shapiro-Wilk, prueba t de *Student* para muestras relacionadas e independientes y cálculo del tamaño del efecto mediante d de Cohen. Para el análisis cualitativo se utilizó teoría fundamentada con codificación abierta, axial y selectiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico inicial

El diagnóstico reveló deficiencias en las habilidades del siglo XXI: 82 % de los participantes presentaba nivel bajo en creatividad, 80 % en resolución de problemas, 75.9 % en alfabetización digital, 71 % en trabajo colaborativo y 61.1 % en pensamiento crítico. Las puntuaciones (escala 1-5) oscilaron entre 1.80 (creatividad) y 2.40 (alfabetización digital).

Análisis inferencial

La prueba t de *Student* para muestras relacionadas reveló diferencias estadísticas significativas entre las mediciones pre y post intervención en el grupo experimental ($p < 0.001$ en todas las dimensiones). Los tamaños del efecto (d de Cohen) oscilaron entre 0.99 (resolución de problemas) y 1.89 (alfabetización digital), ubicándose en categorías de grande a muy grande según Cohen (1988).

Dimensión	n	Media	DE	% Bajo	% Alto
Pensamiento crítico	54	2.30	0.78	61.1	14.8
Resolución de problemas	54	1.90	0.82	80.0	9.3
Creatividad	54	1.80	0.75	82.0	7.4
Trabajo colaborativo	54	2.00	0.86	71.0	13.0
Alfabetización digital	54	2.40	0.71	75.9	11.1

Nota: Escala de medición 1-5. DE = Desviación estándar.

Tabla 1. Estado inicial de las habilidades del siglo XXI en el grupo experimental

Dimensión	M Pre	M Post	Dif.	t	p	d Cohen
Pensamiento crítico	2.30	3.40	1.10	8.87	<.001	1.21
Resolución problemas	1.90	2.90	1.00	7.30	<.001	0.99
Creatividad	1.80	3.20	1.40	11.77	<.001	1.60
Trabajo colaborativo	2.00	3.20	1.20	8.45	<.001	1.15
Alfabetización digital	2.40	3.90	1.50	13.89	<.001	1.89

Nota: $gl = 53$. M = Media. Interpretación d de Cohen: grande (>0.8), muy grande (>1.2).

Tabla 2. Resultados de la prueba t para muestras relacionadas

La comparación post-intervención entre grupos confirmó diferencias significativas a favor del grupo experimental en todas las dimensiones ($p < 0.01$). El análisis de regresión múltiple identificó la frecuencia de uso de *STEMila* ($\beta = 0.443$, $p < 0.001$) y la calidad de las interacciones ($\beta = 0.335$, $p < 0.01$) como principales predictores, con un modelo que explica el 65.2 % de la varianza ($R^2 = 0.652$).

Hallazgos cualitativos

El análisis mediante teoría fundamentada reveló cuatro metacategorías: Agencia Epistémica Digital (transición de la dependencia hacia la autonomía investigativa), Identidad Matemática Transformada (cambio de percepciones de incapacidad hacia mentalidad de crecimiento), Colaboración Sinérgica (evo-

lución del trabajo grupal tradicional hacia inteligencia colectiva) y Metacognición Tecnológica (capacidad de monitorear y regular el aprendizaje mediado por IA). Testimonios como "ahora sé cuándo necesito ayuda de la IA y cuándo resolverlo por mi cuenta" evidencian estas transformaciones.

Impacto en equidad de género

La intervención generó un incremento del 200 % en aspiraciones hacia carreras científico-tecnológicas (del 15 % al 45 %) y un aumento del 254 % en autoconfianza matemática. Estas observaciones están en línea con las de Hill et al. (2010) al apoyar el potencial de las intervenciones tecnológicas sensibles al género para abordar las brechas en *STEM*. Los tamaños del efecto son mayores que los de VanLehn (2011) para

los ITS tradicionales, al confirmar que el uso de IA generativa en combinación con un diseño pedagógico guiado de forma contextual optimizará aún más los beneficios de estos sistemas.

CONCLUSIONES

Esta investigación abordó los objetivos mencionados al indicar que un enfoque didáctico basado en inteligencia artificial mejora en gran medida las habilidades del siglo XXI en la clase de matemáticas. Los hallazgos respaldan la sugerencia hecha de forma previa, de que incorporar herramientas de IA en el proceso de enseñanza y aprendizaje mejora el aprendizaje personalizado, la colaboración y la retroalimentación en tiempo real.

Al crear un marco conceptual que discute perspectivas constructivistas, conectivistas y de cognición distribuida, se desarrolló un marco teórico para el primer objetivo específico. El segundo objetivo destacó una primera visión de las brechas, de las cuales había déficits, incluyendo más del 70 % de los alumnos en niveles bajos en la mayoría de las categorías evaluadas. Los objetivos tercero y cuarto se demostraron a través del entorno de aprendizaje integrado con el tutor *STEMila*, plataformas adaptativas y herramientas interactivas. El quinto objetivo se logró mediante una validación múltiple y corroborativa con análisis estadístico inferencial y cualitativo.

Los resultados numéricos ofrecen una fuerte evidencia de la utilidad de la intervención. La alfabetización digital tuvo el mayor impacto ($d = 1.89$), seguida de cerca por la creatividad ($d = 1.60$). La aparición de conceptos como la Agencia Epistémica Digital y la Metacognición Tecnológica es una contribución teórica original que amplía los marcos para comprender el aprendizaje mediado por la tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, T. y Shattuck, J.** (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M. y Rumble, M.** (2012). Defining twenty-first century skills. En P. Griffin, B. McGaw y E. Care (Eds.), *Assessment and teaching of 21st century skills* (pp. 17-66). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2
- Cabero-Almenara, J. y Llorente-Cejudo, M. C.** (2018). La inteligencia artificial en la educación: Una revisión de las líneas de investigación actuales. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 21(2), 157-174. <https://doi.org/10.5944/ried.21.2.20080>
- Cohen, J.** (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Fadel, C., Bialik, M. y Trilling, B.** (2015). *Four-dimensional education: The competencies learners need to succeed*. Center for Curriculum Redesign.
- George, D. y Mallery, P.** (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, 11.0 update* (4th ed.). Allyn & Bacon.
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P.** (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Hill, C., Corbett, C. y St. Rose, A.** (2010). *Why so few? Women in science, technology, engineering, and mathematics*. American Association of University Women.
- Hwang, G. J., Chu, H. C. y Yin, C.** (2020). Revisiting the effectiveness of digital game-based learning: An integrated framework of self-determination theory and cognitive load theory. *Journal of Educational Technology & Society*, 23(3), 15-27.

- Kumar, V., Singh, M. P. y Jain, S.** (2019). Adaptive Learning Methods for Nonlinear System Modeling. Academic Press.
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M. y Forcier, L. B.** (2016). Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. Pearson Education.
- Martínez, P. y González, L.** (2022). Evaluación del impacto de la inteligencia artificial en la educación secundaria colombiana. *Revista Colombiana de Educación*, 85, 234-256.
- Mishra, P. y Koehler, M. J.** (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Partnership for 21st Century Skills.** (2019). Framework for 21st Century Learning. P21.
- Piaget, J. (1952). The origins of intelligence in children (M. Cook, Trad.). International Universities Press.
- Rodríguez-Pérez, A.** (2020). Diagnóstico de uso de TIC en instituciones educativas del Meta. *Orinoquia*, 24(2), 45-62. <https://doi.org/10.22579/20112629.621>
- Siemens, G.** (2013). Learning analytics: The emergence of a discipline. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1380-1400.
- Sweller, J.** (2011). Cognitive load theory. En J. P. Mestre y B. H. Ross (Eds.), *Psychology of learning and motivation: Cognition in education* (Vol. 55, pp. 37-76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>
- VanLehn, K.** (2011). The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197-221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>
- Vygotsky, L. S.** (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

