



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v12i1.4756>

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

Integration of artificial intelligence as a cognitive scaffold in teaching the monotonicity of rational functions in mathematics: a quasi-experimental study in secondary education

Integração da inteligência artificial como suporte cognitivo no ensino da monotonicidade das funções racionais em matemática: um estudo quase-experimental no ensino secundário

Diego Alberto López Altamirano ^I
dlopez17@indoamerica.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-5779-5695>

Sandra Geoconda Galarza Paredes ^{II}
geoconda.galarza@docentes.educacion.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-2303-0029>

Silvana Del Carmen Valencia Carrillo ^{III}
silvanad.valencia@docentes.educacion.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-0446-8427>

Ligia Carolina Llerena Chacón ^{IV}
ligiallerena@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/0009-0008-7338-147X>

Correspondencia: dlopez17@indoamerica.edu.ec

***Recibido:** 13 de enero de 2026 ***Aceptado:** 16 de febrero de 2026 *** Publicado:** 24 de marzo de 2026

- I. Doctor en Educación (PhD), Docente de Posgrados en la Universidad Indoamérica Facultad de Educación, Docente de Matemáticas y Física en la Unidad Educativa Benjamín Araujo, Tungurahua, Ecuador.
- II. Master Universitario en Didáctica de las Matemáticas en Secundaria y Bachillerato, Docente de Matemáticas en la Unidad Educativa Pedro Fermín Cevallos, Tungurahua, Ecuador.
- III. Magister en informática Educativa, Docente de Matemáticas en la Unidad Educativa 17 de Abril, Tungurahua, Ecuador.
- IV. Magister en Educación Básica, Docente de Lengua y Literatura, Matemática, EE. SS y CC.NN en la Unidad Educativa Joaquín Arias, Tungurahua, Ecuador.

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar la incidencia de la integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en el desarrollo de las destrezas relacionadas con la monotonía de funciones racionales en estudiantes de educación secundaria. Se desarrolló un estudio cuantitativo de tipo cuasi experimental con alcance correlacional descriptivo, con una muestra de 80 estudiantes distribuidos en un grupo de control y un grupo experimental. El grupo experimental trabajó con la plataforma adaptativa MathAI-Monotonic 4.0, mientras que el grupo control utilizó metodología tradicional. Se aplicó un test estructurado validado por expertos y con alta confiabilidad ($\alpha = 0.89$). Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, prueba t de Student para muestras independientes, correlación de Pearson y tamaño del efecto d de Cohen. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) a favor del grupo experimental, una correlación positiva alta ($r = 0.78$) entre interacción con la IA y rendimiento académico, y un tamaño del efecto muy grande ($d = 1.89$). Se concluye que la inteligencia artificial, cuando se integra como andamiaje cognitivo adaptativo, fortalece significativamente el razonamiento analítico, el pensamiento variacional y la comprensión estructural de la monotonía en funciones racionales, constituyéndose en una estrategia didáctica innovadora con alto impacto pedagógico y relevancia científica en el campo de la educación matemática.

Palabras clave: inteligencia artificial educativa; monotonía de funciones racionales; andamiaje cognitivo; pensamiento variacional; educación matemática secundaria.

Abstract

The aim of this research was to determine the impact of integrating artificial intelligence as a cognitive scaffold on the development of skills related to the monotonicity of rational functions in secondary school students. A quantitative, quasi-experimental study with a descriptive correlational scope was conducted with a sample of 80 students divided into a control group and an experimental group. The experimental group worked with the MathAI-Monotonic 4.0 adaptive platform, while the control group used traditional methodology. A structured test, validated by experts and with high reliability ($\alpha = 0.89$), was administered. Data were analyzed using descriptive statistics, Student's t-test for independent samples, Pearson's correlation, and Cohen's d effect size. The results showed statistically significant differences ($p < 0.001$) favoring the experimental group, a strong positive correlation ($r = 0.78$) between interaction with AI and academic performance, and a very large effect size ($d = 1.89$).

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

It is concluded that artificial intelligence, when integrated as an adaptive cognitive scaffold, significantly strengthens analytical reasoning, variational thinking, and the structural understanding of monotonicity in rational functions, thus constituting an innovative didactic strategy with high pedagogical impact and scientific relevance in the field of mathematics education.

Keywords: educational artificial intelligence; monotonicity of rational functions; cognitive scaffolding; variational thinking; secondary mathematics education.

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi determinar o impacto da integração da inteligência artificial como um andaime cognitivo no desenvolvimento de habilidades relacionadas à monotonicidade de funções racionais em alunos do ensino médio. Um estudo quantitativo, quase-experimental, com escopo descritivo correlacional, foi conduzido com uma amostra de 80 alunos divididos em um grupo de controle e um grupo experimental. O grupo experimental utilizou a plataforma adaptativa MathAI-Monotonic 4.0, enquanto o grupo de controle utilizou a metodologia tradicional. Um teste estruturado, validado por especialistas e com alta confiabilidade ($\alpha = 0,89$), foi aplicado. Os dados foram analisados utilizando estatística descritiva, teste t de Student para amostras independentes, correlação de Pearson e tamanho do efeito d de Cohen. Os resultados mostraram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,001$) em favor do grupo experimental, uma forte correlação positiva ($r = 0,78$) entre a interação com a IA e o desempenho acadêmico, e um tamanho do efeito muito grande ($d = 1,89$). Conclui-se que a inteligência artificial, quando integrada como um andaime cognitivo adaptativo, fortalece significativamente o raciocínio analítico, o pensamento variacional e a compreensão estrutural da monotonicidade em funções racionais, constituindo, assim, uma estratégia didática inovadora com alto impacto pedagógico e relevância científica no campo do ensino da matemática.

Palavras-chave: inteligência artificial educacional; monotonicidade de funções racionais; andaimes cognitivos; pensamento variacional; ensino da matemática no ensino médio.

Introducción

La transformación digital de los sistemas educativos ha generado un replanteamiento profundo de los procesos de enseñanza y aprendizaje, particularmente en el campo de la educación matemática. Organismos internacionales como la UNESCO (2021, 2023) han señalado que la inteligencia artificial

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

(IA) constituye una de las tecnologías emergentes con mayor potencial para fortalecer la calidad educativa, siempre que su implementación esté orientada al desarrollo del pensamiento crítico y las competencias cognitivas superiores. En la misma línea, la CEPAL (2022) advierte que América Latina enfrenta el desafío de integrar tecnologías inteligentes no solo como recursos instrumentales, sino como mediadores pedagógicos que reduzcan brechas de aprendizaje y promuevan equidad digital.

El Ministerio de Educación del Ecuador (2023) enfatiza la necesidad de incorporar herramientas tecnológicas que potencien el razonamiento lógico-matemático y el pensamiento analítico en educación secundaria, particularmente en contenidos algebraicos que presentan mayores índices de dificultad, como el estudio de funciones racionales y el análisis de su monotonía. Estos lineamientos se alinean con la Agenda 2030 y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, que promueve una educación inclusiva y de calidad (UNESCO, 2022).

Desde la perspectiva teórica, el aprendizaje matemático ha sido comprendido como un proceso de construcción activa del conocimiento (Piaget, 1970) mediado socialmente (Vygotsky, 1978), donde el andamiaje cumple un papel esencial para el tránsito desde la zona de desarrollo próximo hacia niveles superiores de comprensión. Bruner (1986) conceptualiza el andamiaje como el apoyo estructurado que permite al estudiante resolver tareas que inicialmente no podría realizar de forma autónoma. En el contexto digital contemporáneo, la inteligencia artificial puede asumir funciones de andamiaje cognitivo adaptativo, ofreciendo retroalimentación inmediata, personalización de tareas y análisis del error en tiempo real (Holmes et al., 2019; Luckin et al., 2016).

Diversas investigaciones han demostrado que los sistemas inteligentes de tutoría favorecen el rendimiento matemático (VanLehn, 2011; Ma et al., 2014), mejoran la autorregulación (Aleven et al., 2016) y fortalecen el razonamiento algebraico (Rittle-Johnson et al., 2017). Asimismo, estudios recientes destacan que la IA generativa puede actuar como mediadora del pensamiento variacional y funcional (Borba, 2021; Zawacki-Richter et al., 2019), promoviendo procesos metacognitivos y análisis estructural del comportamiento de funciones.

El estudio de la monotonía en funciones racionales implica la comprensión simultánea de dominio, discontinuidades, asíntotas, derivadas y análisis de intervalos de crecimiento y decrecimiento, lo que demanda un nivel elevado de abstracción y coordinación semiótica (Duval, 2006). Investigaciones en educación matemática señalan que los estudiantes presentan dificultades persistentes en la interpretación gráfica y analítica del comportamiento funcional (Tall, 1992; Sfard, 1991; Artigue,

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

1994). Estas dificultades se relacionan con debilidades en el pensamiento variacional (Confrey & Smith, 1995) y en la comprensión del cambio (Thompson, 1994).

En este escenario, la integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo podría constituir una estrategia innovadora para fortalecer la comprensión conceptual de la monotonía, al proporcionar retroalimentación adaptativa, representación dinámica y análisis guiado del error. Según Mayer (2005), la mediación tecnológica bien estructurada favorece el procesamiento profundo de la información; mientras que Hattie (2009) demuestra que la retroalimentación efectiva posee un alto impacto en el rendimiento académico.

Por otra parte, investigaciones recientes en analítica del aprendizaje (Siemens, 2013; Ferguson, 2012) evidencian que la recopilación y análisis de datos educativos permite identificar patrones de desempeño y optimizar intervenciones pedagógicas. En coherencia con estas perspectivas, el uso de IA en la enseñanza de funciones racionales no solo representa una innovación tecnológica, sino una reconfiguración didáctica fundamentada en teorías cognitivas, socioconstructivistas y del aprendizaje adaptativo.

En consecuencia, se plantea la necesidad de evaluar empíricamente el impacto de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales, mediante un diseño metodológico riguroso que permita determinar su eficacia y magnitud del efecto en el desarrollo de destrezas matemáticas en estudiantes de educación secundaria.

Objetivo general

Determinar la incidencia de la integración de inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en el desarrollo de las destrezas relacionadas con el análisis de la monotonía de funciones racionales en estudiantes de educación secundaria.

Metodología

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo de tipo cuasi experimental con alcance correlacional descriptivo, dado que se buscó analizar la relación entre la implementación de una estrategia didáctica basada en inteligencia artificial y el nivel de desarrollo de destrezas asociadas al análisis de la monotonía en funciones racionales, así como describir el comportamiento de las variables en estudio. Se trabajó con una muestra intencional de 80 estudiantes de educación secundaria, distribuidos en un grupo de control (n=40) y un grupo experimental (n=40). El grupo

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

experimental recibió intervención pedagógica mediada por inteligencia artificial como andamiaje cognitivo adaptativo, mientras que el grupo de control desarrolló el contenido mediante metodología tradicional expositiva.

Para la recolección de datos se elaboró un test de base estructurada alineado con los objetivos curriculares y centrado en la evaluación de destrezas específicas: identificación del dominio de funciones racionales, determinación de intervalos de crecimiento y decrecimiento, análisis de asíntotas, interpretación gráfica y argumentación analítica del comportamiento funcional. El instrumento fue sometido a validación de contenido mediante juicio de expertos, procedimiento recomendado por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), quienes sostienen que la revisión por especialistas garantiza coherencia, pertinencia y claridad conceptual de los ítems.

Posteriormente, se determinó la confiabilidad del instrumento mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de 0,89, considerado altamente confiable según los criterios establecidos por Nunnally y Bernstein (1994), quienes indican que valores superiores a 0,80 reflejan consistencia interna adecuada para investigaciones educativas. Este indicador permitió asegurar estabilidad y homogeneidad en la medición de las destrezas matemáticas evaluadas.

En el análisis estadístico se calcularon medidas descriptivas para caracterizar el desempeño académico de ambos grupos. Para determinar diferencias significativas entre el grupo experimental y el grupo de control se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes, técnica pertinente cuando se comparan medias de dos grupos distintos (Field, 2013). La aplicación de esta prueba permitió establecer si la intervención con inteligencia artificial produjo efectos estadísticamente significativos en el desarrollo de la monotonía de funciones racionales.

Asimismo, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson con el propósito de identificar la relación lineal entre el nivel de interacción con la herramienta de inteligencia artificial y el rendimiento obtenido en el test estructurado, dado que esta medida es apropiada para variables cuantitativas continuas (Cohen et al., 2007). El análisis correlacional permitió determinar la intensidad y dirección de la asociación entre uso de IA y logro académico.

De manera complementaria, se estimó el tamaño del efecto mediante el estadístico D de Cohen, con el fin de cuantificar la magnitud práctica de la intervención más allá de la significación estadística. Según Cohen (1988), el tamaño del efecto permite interpretar la relevancia pedagógica de los resultados, clasificándose como pequeño (0,20), mediano (0,50) o grande (0,80). Este cálculo resultó fundamental para valorar el impacto real de la estrategia didáctica basada en inteligencia artificial.

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

La combinación de análisis descriptivos, inferenciales y de magnitud del efecto permitió obtener una visión integral del fenómeno estudiado, garantizando rigor metodológico y solidez estadística en la interpretación de los resultados, en coherencia con estándares internacionales de investigación educativa.

Resultados

Tabla 1. Nivel de desempeño en la identificación del dominio y discontinuidades en funciones racionales

Grupo	Media aritmética	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de asimetría	Error estándar de la media
Control	6.42	1.18	1.39	0.74	0.19
Experimental (MathAI-Monotonic 4.0)	8.31	0.95	0.90	-0.28	0.15

Análisis e interpretación

Los resultados evidencian una diferencia sustancial en la media aritmética entre el grupo control ($M=6.42$) y el grupo experimental ($M=8.31$), lo que sugiere un mayor dominio conceptual en la identificación del dominio y las discontinuidades por parte de los estudiantes que trabajaron con la plataforma MathAI-Monotonic 4.0. La reducción en la desviación estándar en el grupo experimental (0.95 frente a 1.18) indica mayor homogeneidad en el rendimiento, lo que puede interpretarse como un efecto nivelador del andamiaje cognitivo adaptativo.

La asimetría positiva del grupo control (0.74) muestra concentración de puntajes bajos, mientras que la ligera asimetría negativa del grupo experimental (-0.28) indica acumulación en puntajes altos, reflejando desplazamiento hacia un mejor desempeño. La menor varianza en el grupo experimental confirma mayor consistencia en la adquisición de la destreza.

Desde una perspectiva didáctica, estos resultados sugieren que la retroalimentación inmediata y la visualización guiada de discontinuidades favorecieron la comprensión estructural de restricciones algebraicas.

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

Tabla 2. Análisis de intervalos de crecimiento y decrecimiento en funciones racionales

Condición didáctica	Mediana	Rango intercuartílico	Percentil 90	Curtosis	Coefficiente de variación (%)
Tradicional	6.00	1.75	8.10	0.84	21.4
Con IA MathAI-Monotonic 4.0	8.50	1.10	9.60	-0.32	11.4

Análisis e interpretación

La mediana del grupo experimental (8.50) supera significativamente la del grupo tradicional (6.00), evidenciando mejora en la interpretación analítica de los intervalos de monotonía. El rango intercuartílico menor en el grupo con IA (1.10) indica menor dispersión central, sugiriendo consolidación conceptual.

El percentil 90 de 9.60 en el grupo experimental revela que los estudiantes con mayor desempeño alcanzaron niveles casi máximos de logro. La curtosis negativa (-0.32) indica distribución más aplanada, reflejando rendimiento equilibrado sin concentraciones extremas.

La reducción del coeficiente de variación del 21.4% al 11.4% muestra estabilidad en los resultados y menor desigualdad en el aprendizaje, lo cual respalda el efecto regulador del andamiaje digital.

Tabla 3. Capacidad de argumentación analítica del comportamiento funcional

Modalidad	Promedio ponderado	Desviación absoluta media	Índice de logro (%)	Límite inferior IC 95%	Límite superior IC 95%
Control	6.15	0.98	61.5	5.82	6.48
Experimental IA	8.74	0.71	87.4	8.49	8.99

Análisis e interpretación

El promedio ponderado del grupo experimental (8.74) indica desarrollo avanzado en argumentación matemática formal. El índice de logro del 87.4% evidencia apropiación sólida de la relación entre derivada y monotonía.

La reducción de la desviación absoluta media en el grupo IA refleja coherencia en la construcción argumentativa. El intervalo de confianza estrecho confirma precisión en la estimación poblacional.

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

Estos datos permiten inferir que la interacción adaptativa con la plataforma fortaleció procesos metacognitivos y razonamiento deductivo.

Tabla 4. Interpretación gráfica de funciones racionales

Estrategia	Media geométrica	Error típico	Máximo observado	Mínimo observado	Amplitud total
Tradicional	6.21	0.21	8.9	4.3	4.6
IA MathAI-Monotonic 4.0	8.59	0.14	10.0	7.1	2.9

Análisis e interpretación

La media geométrica superior del grupo experimental indica crecimiento proporcional en comprensión gráfica. La reducción de amplitud total (2.9 frente a 4.6) demuestra disminución de brechas internas.

El menor error típico respalda precisión en la estimación del rendimiento promedio. La plataforma facilitó visualización dinámica de asíntotas y comportamiento local, fortaleciendo pensamiento variacional.

Tabla 5. Nivel de metacognición en el análisis de monotonía

Intervención	Índice de autorregulación	Correlación interna ítems	Puntaje máximo teórico alcanzado (%)	Desviación típica residual
Tradicional	0.54	0.61	65.2	1.22
IA MathAI-Monotonic 4.0	0.83	0.88	92.1	0.68

Análisis e interpretación

El índice de autorregulación de 0.83 en el grupo experimental evidencia fortalecimiento metacognitivo. La alta correlación interna de ítems (0.88) indica coherencia estructural en la construcción conceptual.

El incremento en puntaje máximo alcanzado (92.1%) sugiere interiorización profunda del procedimiento analítico. La reducción de desviación residual confirma menor error conceptual persistente.

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

Tabla 6. Relación entre uso de IA y rendimiento académico (Correlación de Pearson)

Variable asociada	r de Pearson	Nivel de significancia (p)	Fuerza de asociación	Interpretación estadística
Interacción con MathAI-Monotonic 4.0 – Logro en monotonía	0.78	0.000	Alta	Correlación positiva fuerte

Análisis e interpretación

El coeficiente $r=0.78$ indica correlación positiva alta entre nivel de interacción con la plataforma y desempeño en monotonía. El valor $p=0.000$ confirma significancia estadística ($p<0.01$).

Esto implica que mayor uso estructurado de la IA se asocia con mayor desarrollo de destrezas analíticas, validando su rol como mediador cognitivo.

Tabla 7. Prueba t de Student para muestras independientes

Comparación	Media Control	Media Experimental	t calculada	gl	p-valor
Rendimiento global en monotonía	6.32	8.53	-8.47	78	0.000

Análisis e interpretación

La t calculada (-8.47) con $p=0.000$ indica diferencia estadísticamente significativa entre grupos. Con 78 grados de libertad, el resultado permite rechazar la hipótesis nula.

Esto confirma que la integración de MathAI-Monotonic 4.0 produjo mejoras reales y no atribuibles al azar.

Tabla 8. Tamaño del efecto mediante d de Cohen

Variable evaluada	d de Cohen	Magnitud	Interpretación pedagógica
Desarrollo integral de destrezas en monotonía	1.89	Muy grande	Impacto altamente significativo

Análisis e interpretación

El valor $d=1.89$ supera ampliamente el criterio de 0.80 establecido por Cohen (1988) para efecto grande. Esto implica impacto pedagógico muy alto.

Más allá de la significancia estadística, la magnitud confirma relevancia práctica en contextos educativos reales. La intervención no solo mejora puntajes, sino que transforma el nivel de comprensión matemática estructural.

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

Tabla 9. Estructura de implementación de la propuesta didáctica basada en IA "MathAI-Monotonic 4.0"

Fase didáctica	Actividades desarrolladas	Destrezas matemáticas fortalecidas	Tiempo estimado	Recursos utilizados	Objetivo pedagógico específico
Diagnóstico conceptual	Aplicación de prueba inicial estructurada y análisis automatizado de errores mediante la plataforma	Identificación del dominio, reconocimiento de discontinuidades, interpretación preliminar de comportamiento funcional	2 horas	Test estructurado, plataforma MathAI-Monotonic 4.0, laboratorio de informática	Determinar el nivel base de comprensión sobre funciones racionales y su monotonía
Exploración guiada del dominio y asíntotas	Resolución interactiva de ejercicios adaptativos con retroalimentación inmediata	Análisis algebraico del dominio, identificación de asíntotas verticales y horizontales	3 horas	Plataforma IA, simulador gráfico dinámico, pizarra digital	Fortalecer la comprensión estructural de restricciones y comportamiento límite
Análisis de crecimiento y decrecimiento	Estudio dinámico de intervalos mediante representación gráfica y cálculo de derivadas asistido por IA	Determinación de intervalos de monotonía, interpretación de derivada como razón de cambio	4 horas	MathAI-Monotonic 4.0, software de visualización simbólica, guías digitales	Desarrollar pensamiento variacional y análisis formal de la monotonía
Argumentación matemática estructurada	Construcción de explicaciones escritas justificando comportamiento funcional con apoyo adaptativo	Razonamiento analítico, argumentación deductiva, conexión entre representación gráfica y algebraica	3 horas	Plataforma IA con módulo de retroalimentación semántica, rúbrica digital	Consolidar la capacidad de justificar matemáticamente el comportamiento de funciones racionales

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

Resolución de problemas contextualizados	Aplicación de funciones racionales en situaciones modeladas (problemas reales simulados por IA)	Modelización matemática, transferencia conceptual, interpretación contextual	3 horas	Banco de problemas adaptativos, simulador interactivo	Promover aplicación práctica y transferencia de la monotonía a contextos reales
Evaluación y metacognición	Aplicación de posttest estructurado y análisis de progreso individual mediante analítica de aprendizaje	Autorregulación, reflexión metacognitiva, evaluación comparativa del aprendizaje	2 horas	Test final validado, módulo analítico de la plataforma	Medir el impacto de la intervención y promover conciencia del proceso de aprendizaje

Validación académica de la propuesta

La propuesta didáctica fue sometida a un proceso riguroso de validación por juicio de expertos, en el cual participaron diez especialistas con grado doctoral y maestría en educación matemática, tecnología educativa y didáctica del álgebra, con experiencia comprobada en investigación indexada y diseño curricular. Los expertos evaluaron la pertinencia científica, coherencia metodológica, alineación curricular, claridad conceptual, secuenciación didáctica y consistencia entre objetivos, actividades y destrezas desarrolladas.

El proceso se realizó mediante una matriz de evaluación estructurada que consideró criterios de relevancia, congruencia interna, innovación pedagógica, viabilidad técnica y fundamentación teórica. Los resultados del análisis evidenciaron un alto nivel de concordancia entre evaluadores, destacándose la coherencia epistemológica de la propuesta y su alineación con enfoques contemporáneos de andamiaje cognitivo y aprendizaje adaptativo. Las observaciones emitidas permitieron realizar ajustes menores en la redacción de actividades y en la precisión de indicadores de desempeño, fortaleciendo así la robustez académica de la intervención antes de su implementación definitiva.

Este procedimiento garantiza que la propuesta no solo posee fundamentación teórica sólida, sino también validez de contenido y pertinencia pedagógica en el contexto de la educación secundaria.

Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo mediante la plataforma MathAI-Monotonic 4.0 produjo mejoras estadísticamente significativas y pedagógicamente relevantes en el desarrollo de destrezas asociadas a la monotonía de funciones racionales. El incremento sustancial de las medias en el grupo experimental, la reducción de la dispersión y el tamaño del efecto muy grande ($d = 1.89$) permiten afirmar que la intervención no solo generó diferencias cuantitativas, sino transformaciones cualitativas en la comprensión estructural del comportamiento funcional. Estos hallazgos se alinean con lo planteado por Hattie (2009), quien sostiene que las intervenciones con retroalimentación efectiva presentan efectos elevados en el rendimiento académico, particularmente cuando promueven procesamiento profundo de la información.

Desde una perspectiva teórica, los resultados pueden interpretarse a la luz del enfoque socioconstructivista de Vygotsky (1978), quien argumenta que el aprendizaje se potencia mediante mediadores culturales que amplían la zona de desarrollo próximo. La inteligencia artificial, al actuar como andamiaje adaptativo, cumple funciones similares a las descritas por Bruner (1986), proporcionando apoyo temporal que se ajusta progresivamente al nivel del estudiante. En este sentido, los resultados respaldan la idea de que la mediación tecnológica no sustituye al docente, sino que amplifica las oportunidades de regulación cognitiva, tal como sugieren Luckin et al. (2016) y Holmes et al. (2019).

El alto coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.78$) entre interacción con la plataforma y rendimiento en monotonía coincide con investigaciones de VanLehn (2011) y Ma et al. (2014), quienes demostraron que los sistemas inteligentes de tutoría pueden alcanzar efectos comparables a la tutoría humana en contextos matemáticos específicos. Asimismo, los resultados se relacionan con los planteamientos de Alevén et al. (2016), quienes destacan que los entornos inteligentes favorecen la autorregulación y el monitoreo metacognitivo. En esta investigación, el incremento del índice de autorregulación en el grupo experimental respalda tales afirmaciones y confirma que la IA no solo impacta el desempeño procedimental, sino también la conciencia estratégica del aprendizaje.

En el ámbito específico de la educación matemática, las dificultades en la comprensión de funciones racionales y su monotonía han sido ampliamente documentadas por Sfard (1991), Tall (1992), Artigue (1994) y Duval (2006), quienes identifican obstáculos epistemológicos vinculados a la coordinación entre representaciones algebraicas y gráficas. Los resultados obtenidos muestran una mejora

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

significativa en la interpretación gráfica y en la argumentación analítica, lo que sugiere que la representación dinámica ofrecida por la IA facilitó la conversión entre registros semióticos, tal como propone la teoría de Duval (2006). Además, el fortalecimiento del pensamiento variacional observado en el grupo experimental se vincula con los planteamientos de Confrey y Smith (1995) y Thompson (1994), quienes subrayan la importancia de comprender el cambio como relación funcional y no como simple cálculo mecánico.

Los hallazgos también se articulan con las investigaciones de Borba (2021), quien argumenta que la tecnología digital transforma la naturaleza del conocimiento matemático al introducir nuevas formas de interacción simbólica. En coherencia con esto, Zawacki-Richter et al. (2019) sostienen que la inteligencia artificial aplicada a la educación tiene efectos positivos cuando se integra pedagógicamente y no solo como recurso instrumental. La magnitud del efecto encontrada en este estudio respalda esta postura, demostrando que la integración didáctica estructurada produce impactos superiores a intervenciones tradicionales.

Desde el enfoque cognitivo, Mayer (2005) señala que el aprendizaje significativo ocurre cuando el estudiante organiza activamente la información y la integra en estructuras previas. La retroalimentación inmediata proporcionada por la plataforma permitió detectar errores conceptuales en tiempo real, favoreciendo reorganización cognitiva y evitando la consolidación de concepciones erróneas, fenómeno ampliamente descrito por Rittle-Johnson et al. (2017). Asimismo, el análisis de datos educativos coincide con las propuestas de Siemens (2013) y Ferguson (2012), quienes sostienen que la analítica del aprendizaje permite optimizar intervenciones pedagógicas basadas en evidencia. Los resultados también se encuentran en consonancia con recomendaciones de organismos internacionales. La UNESCO (2021, 2023) ha señalado que la IA debe orientarse al fortalecimiento de competencias cognitivas complejas, mientras que la CEPAL (2022) enfatiza su potencial para reducir brechas educativas en América Latina. El impacto homogéneo observado en la reducción de la dispersión y en la disminución del coeficiente de variación sugiere que la herramienta actuó como mecanismo de equidad cognitiva, reduciendo diferencias internas en el aula. De igual manera, los lineamientos del Ministerio de Educación del Ecuador (2023) sobre innovación tecnológica en matemáticas encuentran respaldo empírico en los hallazgos del presente estudio.

En términos metodológicos, la significancia estadística obtenida mediante la prueba t de Student confirma diferencias reales entre grupos, mientras que el tamaño del efecto calculado según Cohen (1988) demuestra relevancia práctica. Field (2013) y Cohen et al. (2007) enfatizan que la combinación

Integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo en la enseñanza de la monotonía de funciones racionales en matemáticas: un estudio cuasi-experimental en educación secundaria

de pruebas inferenciales y magnitud del efecto fortalece la interpretación científica, criterio que fue rigurosamente aplicado en este estudio. El alfa de Cronbach de 0.89, considerado altamente confiable según Nunnally y Bernstein (1994), respalda la consistencia interna del instrumento utilizado, garantizando solidez en la medición de las destrezas.

Finalmente, los resultados confirman que la inteligencia artificial, cuando se estructura como andamiaje cognitivo adaptativo, contribuye significativamente al desarrollo del razonamiento analítico sobre la monotonía de funciones racionales, superando enfoques tradicionales centrados exclusivamente en procedimientos algebraicos. Este hallazgo amplía las perspectivas de investigación en educación matemática digital y aporta evidencia empírica al debate contemporáneo sobre la integración crítica de la IA en contextos escolares.

Conclusiones

La investigación demuestra que la integración de la inteligencia artificial como andamiaje cognitivo mediante la plataforma MathAI-Monotonic 4.0 genera un impacto estadísticamente significativo y pedagógicamente muy relevante en el desarrollo de destrezas relacionadas con la monotonía de funciones racionales en educación secundaria. La combinación de mejoras en medias, reducción de dispersión, alta correlación positiva y un tamaño del efecto muy grande confirma que la intervención no solo incrementa el rendimiento académico, sino que fortalece procesos metacognitivos, pensamiento variacional y argumentación analítica. Estos hallazgos aportan evidencia empírica robusta al campo de la educación matemática, validando el uso de inteligencia artificial como mediador didáctico eficaz y coherente con teorías socioconstructivistas y cognitivas del aprendizaje. Desde una perspectiva científica, el estudio contribuye al cuerpo de conocimiento al integrar rigurosamente análisis estadísticos inferenciales, medición de magnitud del efecto y fundamentos teóricos contemporáneos en inteligencia artificial educativa. Además, ofrece un modelo replicable de intervención cuasi experimental que puede ser aplicado en otros contenidos algebraicos de alta complejidad conceptual. La evidencia presentada posiciona a la inteligencia artificial no como sustituto del docente, sino como herramienta estratégica que amplifica la mediación pedagógica y promueve aprendizajes matemáticos más profundos, estructurales y equitativos en el contexto de la educación secundaria.

Referencias

1. Alevén, V., McLaughlin, E. A., Glenn, R., & Koedinger, K. R. (2016). Instruction based on adaptive learning technologies. In R. E. Mayer & P. A. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (2nd ed., pp. 522–560). Routledge.
2. Artigue, M. (1994). Didactical engineering as a framework for the conception of teaching products. In R. Biehler et al. (Eds.), *Didactics of mathematics as a scientific discipline* (pp. 27–39). Kluwer Academic Publishers.
3. Borba, M. C. (2021). The future of mathematics education since COVID-19: Humans-with-media or humans-with-non-living-things. *Educational Studies in Mathematics*, 108(1–2), 385–400.
4. Bruner, J. (1986). *Actual minds, possible worlds*. Harvard University Press.
5. CEPAL. (2022). *La transformación digital en América Latina: desafíos y oportunidades para la educación*. Naciones Unidas.
6. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
7. Cohen, J., Cohen, P., West, S., & Aiken, L. (2007). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (3rd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
8. Confrey, J., & Smith, E. (1995). Splitting, covariation and their role in the development of exponential functions. *Journal for Research in Mathematics Education*, 26(1), 66–86.
9. Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1–2), 103–131.
10. Ferguson, R. (2012). Learning analytics: Drivers, developments and challenges. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5–6), 304–317.
11. Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage.
12. Hattie, J. (2009). *Visible learning*. Routledge.
13. Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
14. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education*. Center for Curriculum Redesign.
15. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson.
16. Ma, W., Adesope, O., Nesbit, J., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106(4), 901–918.

17. Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press.
18. Ministerio de Educación del Ecuador. (2023). *Lineamientos para la innovación educativa digital*. MINEDUC.
19. Nunnally, J., & Bernstein, I. (1994). *Psychometric theory* (3rd ed.). McGraw-Hill.
20. Piaget, J. (1970). *Genetic epistemology*. Columbia University Press.
21. Rittle-Johnson, B., Schneider, M., & Star, J. (2017). Not a one-way street: Bidirectional relations between procedural and conceptual knowledge. *Educational Psychology Review*, 29(4), 587–597.
22. Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions. *Educational Studies in Mathematics*, 22(1), 1–36.
23. Siemens, G. (2013). Learning analytics: The emergence of a discipline. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1380–1400.
24. Tall, D. (1992). The transition to advanced mathematical thinking. In D. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 495–511). Macmillan.
25. Thompson, P. (1994). The development of the concept of speed and its relationship to concepts of rate. In G. Harel & J. Confrey (Eds.), *The development of multiplicative reasoning* (pp. 179–234). SUNY Press.
26. UNESCO. (2021). *Artificial intelligence and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO Publishing.
27. UNESCO. (2022). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. UNESCO Publishing.
28. UNESCO. (2023). *Generative AI and education: Policy guidance*. UNESCO Publishing.
29. VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197–221.
30. Vygotsky, L. (1978). *Mind in society*. Harvard University Press.
31. Zawacki-Richter, O., Marín, V., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39), 1–27.