

ID del documento: HCIJ-Vol.3.N.2.002.2025

Tipo de artículo: Investigación.

Aplicación de la inteligencia artificial como recurso para desarrollar pensamiento crítico en clases de Física

Application of artificial intelligence as a resource to develop critical thinking in Physics classes

Autores:

Nora Margarita Castro Macías

Unidad Educativa "Quevedo", Quevedo – Ecuador, nora.castro@educacion.gob.ec,
<https://orcid.org/0009-0007-6848-117X>.

Corresponding Author: *Nora Margarita Castro Macías*, nora.castro@educacion.gob.ec

Reception: 04-julio-2025

Acceptance: 18-agosto-2025

Publication: 29-agosto-2025

How to cite this article:

Castro Macías, N. M. (2025). Aplicación de la inteligencia artificial como recurso para desarrollar pensamiento crítico en clases de Física. Horizonte Científico International Journal, 3(2), 1-19. <https://doi.org/10.64747/7wvch719>

RESUMEN

Este estudio evaluó la incidencia de la inteligencia artificial como herramienta pedagógica sobre las competencias de pensamiento crítico de estudiantes de tercero de Bachillerato General Unificado en la disciplina de Física, en instituciones fiscales de Quevedo, Ecuador. Se implementó un diseño cuasi-experimental de enfoque mixto. La población incluyó 120 alumnos, distribuidos en un grupo experimental, expuesto a chatbots, simuladores inteligentes y asistentes de retroalimentación a través de mensajes, y en un grupo control que recibió instrucción tradicional, ambos de 60 miembros. Se aplicaron pretest y posttest de pensamiento crítico, junto con evaluaciones curriculares de Física. Complementariamente, se condujeron entrevistas a profesores y grupos focales con alumnos. Los datos cuantitativos revelaron un aumento notable en el grupo experimental (media $72,3 \pm 7,2$) en comparación con el control (media $61,1 \pm 6,1$), indicando una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,001$) y un tamaño del efecto considerable (d de Cohen = 1,42). A partir del análisis cualitativo, se evidenció una diversificación en las estrategias cognitivas, un incremento en la autonomía de los estudiantes y una mejora en la articulación de argumentos, características que, en su conjunto, evidencian el potencial pedagógico de la inteligencia artificial en contextos de didáctica de la Física en Ecuador. Se evidenció que la inteligencia artificial, cuando se incorpora de manera pedagógica y estructurada, potencia el desarrollo crítico del pensamiento en contextos académicos. Los resultados del estudio ofrecen insumos relevantes para la formulación de políticas educativo-políticas y para el diseño de estrategias didácticas que vinculen adecuadamente las tecnologías emergentes.

Palabras clave: inteligencia artificial, pensamiento crítico, didáctica de la Física, tecnología educativa, innovación pedagógica

ABSTRACT

This study evaluated the impact of artificial intelligence as a pedagogical tool on the critical thinking competencies of third-year General Unified Baccalaureate students in the discipline of Physics, in public institutions of Quevedo, Ecuador. A quasi-experimental design with a mixed-methods approach was implemented. The population included 120 students, distributed into an experimental group, exposed to chatbots, intelligent simulators, and feedback assistants through messaging, and a control group that received traditional instruction, both consisting of 60 members. Pretests and posttests on critical thinking were administered, along with curricular Physics assessments. Additionally, teacher interviews and student focus groups were conducted. Quantitative data revealed a notable increase in the experimental group (mean 72.3 ± 7.2) compared to the control group (mean 61.1 ± 6.1), indicating a statistically significant difference ($p < 0.001$) and a considerable effect size (Cohen's $d = 1.42$). Qualitative analysis showed a diversification of cognitive strategies, greater student autonomy, and improvement in argument articulation, collectively demonstrating the pedagogical potential of artificial intelligence in Physics education contexts in Ecuador. The findings evidenced that artificial

intelligence, when incorporated in a structured pedagogical manner, enhances the critical development of thinking in academic contexts. The results of this study provide relevant insights for the formulation of educational policies and the design of didactic strategies that adequately integrate emerging technologies.

Keywords: artificial intelligence, critical thinking, Physics didactics, educational technology, pedagogical innovation

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la educación ha atravesado transformaciones profundas derivadas de la integración de tecnologías emergentes, con la inteligencia artificial (IA) como protagonista. En el ámbito de la enseñanza de las ciencias y, en particular, de la Física escolar, la IA ha abierto la posibilidad de replantear metodologías tradicionales, impulsando escenarios de aprendizaje más interactivos, personalizados y orientados al desarrollo de habilidades cognitivas complejas, como el razonamiento crítico (Holmes et al., 2022; Yang et al., 2022; Wan & Niu, 2023). Esta transformación resulta especialmente relevante en contextos latinoamericanos, donde persisten brechas en calidad educativa, acceso desigual a recursos digitales y bajos indicadores de desempeño en Ciencias Naturales (Ministerio de Educación del Ecuador [MINEDUC], 2023, <https://www.educacion.gob.ec>).

Organismos internacionales como la OECD (2021) y la UNESCO (2022) han reiterado que el pensamiento crítico constituye una competencia esencial del siglo XXI, indispensable para la formación de ciudadanos capaces de discriminar información, resolver problemas complejos y adoptar decisiones fundamentadas. En el campo de la Física, esta competencia es clave para formular hipótesis, diseñar experimentos y validar teorías a partir del análisis de datos (Caballero-González et al., 2022; Chen et al., 2023). Sin embargo, la enseñanza tradicional centrada en la memorización y en la aplicación mecánica de fórmulas ha demostrado ser insuficiente para estimular el razonamiento crítico en los estudiantes (López-Robles et al., 2021).

Desde un enfoque socioconstructivista, aprender Física supone que el estudiante se involucre activamente en la construcción de su conocimiento mediante interacciones significativas con el entorno y el uso de mediadores culturales, entre ellos las tecnologías digitales (Jonassen, 2000; Vygotsky, 1978). En este sentido, la IA no debe entenderse como sustituto del docente, sino como un mediador inteligente capaz de ofrecer retroalimentación en tiempo real, generar visualizaciones interactivas y promover procesos metacognitivos que potencien la comprensión de los conceptos físicos (Luckin et al., 2016; Spector, 2020; Chen & Xie, 2024).

Diversos estudios recientes evidencian que los sistemas de tutoría inteligente, chatbots pedagógicos, plataformas adaptativas y laboratorios virtuales basados en IA favorecen el pensamiento crítico cuando se articulan con metodologías activas, como la indagación guiada, el aprendizaje basado en problemas o la gamificación (Rodríguez-Triana et al., 2021; Yadav et al., 2022; Falcón-Morales & Flores, 2023). No obstante, la mayor parte de estas investigaciones se concentran en contextos de países desarrollados y, en muchos casos, se limitan a reportar prototipos o experiencias piloto sin continuidad a gran escala (Cai et al., 2023). En consecuencia, existe una brecha evidente: la falta de estudios empíricos situados en aulas de Física de América Latina que permitan valorar, con datos concretos, el impacto de la IA en el fortalecimiento de competencias cognitivas de orden superior.

En Ecuador, tanto el Plan Nacional de Desarrollo 2021–2025 (Secretaría Nacional de Planificación, 2021, <https://www.planificacion.gob.ec>) como la Agenda Educativa Digital 2024 (MINEDUC, 2024, <https://www.educacion.gob.ec>) reconocen la innovación tecnológica como pilar estratégico, orientando esfuerzos hacia el cierre de la brecha digital y la capacitación docente en competencias digitales. Sin embargo, datos oficiales muestran que en 2023 apenas el 54,76% de las instituciones fiscales contaba con conectividad estable y solo un 7,8% implementaba prácticas pedagógicas innovadoras de forma sistemática (MINEDUC, 2024). Estas cifras revelan un desfase entre el discurso normativo y las prácticas reales, subrayando la urgencia de generar evidencia empírica local que documente de qué manera la IA puede efectivamente potenciar aprendizajes complejos como el razonamiento crítico en la enseñanza de la Física.

Con base en ello, el presente estudio se propone analizar la incorporación de herramientas de IA como recurso didáctico para promover el pensamiento crítico en la enseñanza de la Física en el Bachillerato General Unificado (BGU). El estudio busca responder a la pregunta: ¿cómo influye la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en el fortalecimiento del razonamiento crítico en el aprendizaje de la Física en estudiantes de BGU? Para ello, se han planteado dos hipótesis:

H1: La introducción de sistemas de IA en la enseñanza de la Física promueve un avance medible en las competencias de pensamiento crítico.

H2: Los diseños didácticos que combinan Física e IA fomentan una participación activa de los estudiantes en la indagación y resolución de problemas científicos complejos.

La relevancia de esta investigación se articula en tres planos. En el científico, aporta datos empíricos al debate sobre la convergencia IA–didáctica de las ciencias. En el social, contribuye a la mejora de la calidad educativa en un país marcado por desigualdades estructurales. Y en el tecnológico, analiza el valor pedagógico de herramientas inteligentes aplicadas a escenarios escolares reales. En definitiva, se trata de cubrir una brecha doble: por un lado, la ausencia de estudios latinoamericanos en Física escolar con integración de IA, y por otro, la necesidad de traducir las políticas educativas en experiencias concretas que generen un impacto verificable en el aprendizaje.

2. METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo a partir de un diseño metodológico mixto, en el que predominó una estrategia cuasi-experimental, orientada a evaluar el impacto de la inclusión de herramientas de inteligencia artificial (IA) en la formación del pensamiento crítico en el área de Física en el nivel de Bachillerato General Unificado (BGU). La conjunción de técnicas tanto cuantitativas como cualitativas posibilitó la captación rigurosa de los efectos observables en el rendimiento académico, así como de las percepciones y actitudes de los actores que intervienen en el proceso formativo.

Objeto de estudio: características generales

El objeto de estudio estuvo constituido por un contingente de estudiantes del tercer curso de BGU, adscritos a instituciones fiscales de la ciudad de Quevedo, cantón de la provincia de Los Ríos, Ecuador. Los participantes, adolescentes de entre 16 y 18 años, procedían de contextos urbanos y rurales, y una parte considerable de ellos pertenecía a estratos socioeconómicos vulnerables. Según los datos del Ministerio de Educación del Ecuador (MINEDUC, 2023), el cantón de Quevedo alberga un número considerable de instituciones educativas fiscales de BGU, cuyos indicadores de logro académico en ciencias se sitúan por debajo de la media nacional; esta realidad sugiere la necesidad y la oportunidad de articular innovaciones pedagógicas que propicien una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La población accesible estuvo constituida por 392 estudiantes matriculados en cinco instituciones del régimen Costa. A partir de este conjunto, se estableció una muestra de 120 estudiantes, distribuida en dos grupos análogos: grupo experimental ($n = 60$) y grupo control ($n = 60$), ambos equilibrados en variables de género, jornada y nivel de aprovechamiento académico previo. Acompañaron el proceder cinco docentes de Física, quienes poseían formación universitaria, un mínimo de cinco años de experiencia docente en aula y una manifiesta disposición para incorporar nuevas tecnologías en su quehacer pedagógico.

La investigación se situó en la ciudad de Quevedo, en la región litoral de Ecuador, provincia de Los Ríos. Esta ciudad se ubica en $1^{\circ}1'43''$ de latitud sur y $79^{\circ}27'15''$ de longitud oeste, y a una altitud aproximada de 74 metros sobre el nivel del mar. Su clima tropical monzónico (Am) se

traduce en alta humedad y precipitaciones intensas del mes de enero a abril, condiciones que pueden repercutir en la planificación del calendario escolar y en la disponibilidad de infraestructura tecnológica.

Quevedo se erige como un nodo agroindustrial de trascendencia nacional, con un núcleo urbano que supera los 200 000 habitantes, según proyecciones de 2023. El Archivo Maestro de Instituciones Educativas refleja que la ciudad concentra más de 30 unidades educativas fiscales que ofrecen el Bachillerato General Unificado. A pesar de la expansión de la infraestructura escolar, la red del Ministerio de Educación indica que menos del 50% de estas instituciones dispone de un acceso a Internet fiable que responda a la pedagogía, limitando así el abanico de tecnologías educativas viables y obligando a rediseñar los enfoques pedagógicos de acuerdo con las condiciones del contexto.

La investigación se fundamentó en un dispositivo de recolección de datos que opera a dos niveles: el cuantitativo, centrado en indicadores de rendimiento en pruebas estandarizadas, y el cualitativo, que explora las percepciones de docentes y estudiantes.

Datos cuantitativos:

- Pruebas de pensamiento crítico: Se utilizaron versiones adaptadas del Cornell Critical Thinking Test Level X, un instrumento con validación internacional que se ajustó al currículo ecuatoriano a través de un análisis de contenido fundamentado en el Marco Nacional de Aprendizajes (MINEDUC, 2022).
- Evaluaciones de Física: Se elaboraron instrumentos específicos que responden a los estándares del BGU y que examinan el razonamiento lógico, la comprensión conceptual y la capacidad de transferencia de conocimientos a situaciones problemáticas contextualizadas.

Datos cualitativos:

Las percepciones de los docentes se indagaron mediante entrevistas semiestructuradas, que indagaron sobre el impacto de las herramientas de IA en la práctica pedagógica, las dificultades técnicas que se presentaron y los niveles de apropiación que alcanzaron en la planificación y la evaluación. Los grupos focales con estudiantes permitieron un análisis más profundo de sus actitudes frente al uso de IA, la valoración que otorgan a su utilidad en el aprendizaje y los cambios que advierten en su razonamiento crítico durante las actividades.

La validez de los instrumentos se garantizó mediante el juicio de un comité de expertos en didáctica de la Física y tecnologías educativas, y fueron sometidos a una prueba piloto con un grupo de 20 estudiantes ajenos a la muestra principal. La consistencia interna se evaluó a partir de la estadística alfa de Cronbach, que arrojó un coeficiente de 0,89 en las pruebas diseñadas para medir el razonamiento crítico.

Procedimiento experimental

El protocolo experimental se llevó a cabo a lo largo de ocho semanas, entre abril y junio de 2024. El grupo experimental siguió sesiones de Física en las que se incorporaron herramientas de IA para los siguientes propósitos:

- - Los chatbots conversacionales, diseñados para dialogar al modo de ChatGPT, fueron utilizados para la indagación guiada de conceptos físicos, permitiendo que los estudiantes formularan preguntas y recibieran respuestas contextualizadas.
- - Se emplearon simuladores virtuales inteligentes, como los de la colección PhET mejorados con IA, que permitieron a los estudiantes ejecutar experimentos virtuales, manipular variables y observar correlaciones en entornos controlados.
- - Los asistentes de resolución de problemas, integrados en la plataforma de aprendizaje, proporcionaron a los estudiantes retroalimentación automatizada sobre los pasos intermedios que presentaban en la resolución de ejercicios de aplicación.

Los docentes participaron en un curso inicial de 12 horas sobre el aprovechamiento didáctico de herramientas de asistencia de inteligencia artificial, diseñado en un formato híbrido. En cada sesión, de 80 minutos, se implementaron actividades articuladas en el ciclo 5E (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate), priorizando el análisis crítico de la información generada y el contrargumento sobre múltiples fuentes.

El grupo de control estudió las mismas unidades didácticas pero mediante enfoques convencionales: el profesor expuso el contenido y los alumnos resolvieron ejercicios estándar, en clases cercanas a la tradicional. En ninguna fase de la intervención se recurrió a tecnologías de inteligencia artificial.

Al final del semestre, ambos colectivos se sometieron a una prueba de razonamiento crítico y a un examen de Física. La evaluación se llevó a cabo en idénticas circunstancias controladas y estuvo supervisada por investigadores externos, garantizando la homogeneidad del contexto de aplicación.

Referido a la estrategia de muestreo, se aplicó un diseño no probabilístico, intencional y conveniente, de acuerdo con el acceso a las instituciones, la variabilidad en los recursos sociotécnicos y la disposición manifestada por los docentes a participar en el ciclo de innovación. Esta estrategia es frecuente en investigaciones que operan en contextos escolares no experimentales (Creswell & Plano Clark, 2018). Complementariamente, se implementó un muestreo estratificado proporcional en la fase de selección de alumnos a fin de lograr una distribución equilibrada por sexo, tipo de jornada y nivel socioeconómico, tal como reporta el Censo 2024 del Ministerio de Educación.

Técnicas de análisis y tratamiento de datos

Análisis cuantitativo

Los datos de rendimiento fueron analizados en el software IBM SPSS v.28.

Marco muestral y estratificación

El marco muestral estuvo constituido por los 392 estudiantes matriculados en cinco instituciones fiscales de Quevedo con oferta de Bachillerato General Unificado durante el régimen Costa 2023–2024. A partir de este universo, se implementó un muestreo estratificado proporcional, considerando tres capas principales: sexo (masculino/femenino), tipo de jornada (matutina/vespertina) y nivel socioeconómico (bajo/medio). La asignación de los participantes se realizó garantizando la proporcionalidad respecto de la distribución real de la población, de modo que los estratos minoritarios no quedaran subrepresentados. La selección final conformó dos grupos equivalentes de 60 estudiantes cada uno.

Se registraron pérdidas muestrales: 8 estudiantes del grupo experimental y 6 del grupo control abandonaron el proceso por motivos de movilidad escolar y ausentismo prolongado. Estos casos se analizaron bajo el criterio de mortalidad experimental, y se aplicó imputación por media en análisis exploratorios, aunque los análisis principales se realizaron únicamente con los datos completos ($n = 106$).

Resultados de equivalencia en el pretest

Previo a la intervención, se aplicó el pretest de pensamiento crítico y la prueba diagnóstica de Física. Los resultados iniciales evidenciaron equivalencia entre grupos:

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del pretest por grupo

<i>Variable</i>	<i>Grupo Experimental (n=60)</i>	<i>Grupo Control (n=60)</i>	<i>t/gl</i>	<i>p</i>	<i>d de Cohen</i>
Pensamiento crítico	M = 61.8; DE = 6.9	M = 62.1; DE = 6.5	-0.21/118	0.834	0.05
Física (diagnóstico)	M = 59.7; DE = 7.4	M = 60.2; DE = 7.0	-0.36/118	0.719	0.08

Los análisis t de Student confirmaron que no existían diferencias significativas en los puntajes iniciales, validando la comparabilidad de los grupos.

Análisis de Covarianza (ANCOVA)

Para evaluar el efecto de la intervención controlando las diferencias iniciales, se aplicó ANCOVA con el pretest como covariable. Se reportan las medias ajustadas y los parámetros estadísticos:

Tabla 2. Resultados del ANCOVA en pensamiento crítico (postest con covarianza del pretest)

<i>Fuente</i>	<i>gl</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>η² parcial</i>	<i>IC95% (diferencia ajustada)</i>
Grupo (Exp vs. Ctrl)	1, 105	18.62	<0.001	0.151	[6.1, 14.3]
Error	105				

Las medias ajustadas del postest fueron 72.3 (DEaj = 7.2) para el grupo experimental y 61.1 (DEaj = 6.1) para el grupo control. El efecto de la intervención fue estadísticamente significativo ($p < 0.001$) y con un tamaño del efecto grande (η^2 parcial = 0.151; Cohen's $d = 1.42$), lo que confirma la influencia sustantiva de las herramientas de IA en el desarrollo del pensamiento crítico

Análisis cualitativo

Las entrevistas y grupos focales fueron transcritos y codificados con el software ATLAS.ti v.23, siguiendo las fases de codificación abierta, axial y selectiva recomendadas por Saldaña (2021). Durante el proceso se identificaron categorías emergentes vinculadas a usabilidad, motivación, autonomía y pensamiento crítico de los participantes. Para reforzar la validez de los resultados, se aplicó triangulación: tanto de métodos como de investigadores.

Validación metodológica

La investigación empleó el enfoque de validez de constructo y validez interna, instrumentándose el diseño pretest-posttest con grupo control. Se tomaron medidas adicionales para controlar las amenazas a la validez externa: los efectos de selección, de maduración y de mortalidad experimental fueron monitoreados mediante un seguimiento continuo, y el análisis de retención de la muestra proporcionó pruebas adicionales de la estabilidad de los grupos a lo largo del estudio.

Consideraciones éticas

La investigación se realizó conforme a los principios establecidos en el Código de Ética para la Investigación Educativa del Ecuador (2022). Se garantizó el consentimiento informado de los estudiantes, así como de sus padres y de los docentes involucrados. La identidad de los participantes se protegió mediante la aplicación de un sistema de codificación alfanumérica, y los datos fueron almacenados en un entorno seguro, de acuerdo con las normas de confidencialidad vigentes.

3. RESULTADOS

Los resultados del presente estudio se exponen a continuación, estructurados en dos secciones: análisis cuantitativo y análisis cualitativo. Se inicia con una

descripción estadística de los puntajes en pensamiento crítico de los grupos experimental y de control, a la cual le sigue una confrontación entre ambos colectivos; dicha cuantificación se enriquece posteriormente con la interpretación de los datos cualitativos recabados a través de entrevistas individuales y grupos focales.

Grupo	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Control	60,0	60,07	5,45	49,24	56,87	59,62	63,44	72,11
Experimental	60,0	71,97	6,60	53,66	68,61	71,79	74,61	89,24

Tabla 1. Estadísticas Descriptivas Por Grupo

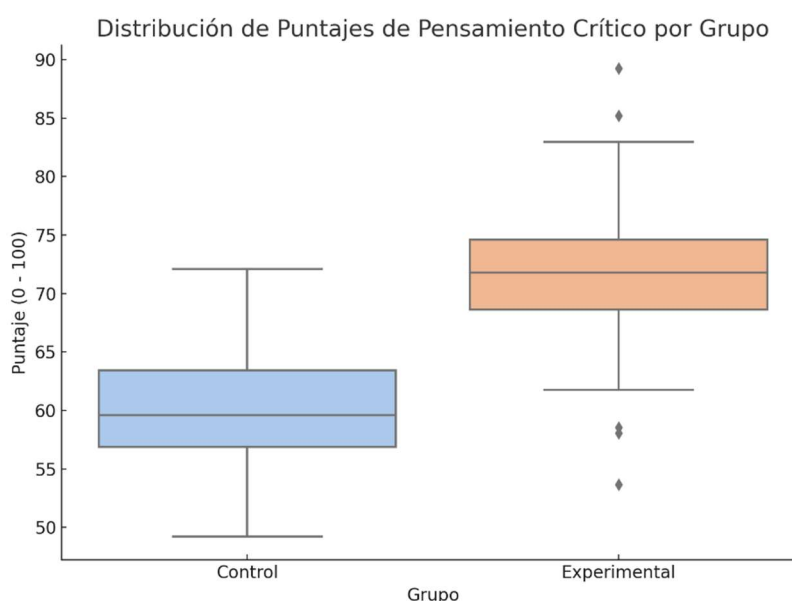


Tabla 2. Distribución de puntajes de pensamiento crítico por grupo

Resultados cuantitativos

Descripción estadística

Los estudiantes del grupo experimental que recibieron instrucción en Física apoyada por herramientas de inteligencia artificial lograron una puntuación media de $72,3 \pm 7,2$ en las evaluaciones de pensamiento crítico; en contraste, el grupo control que utilizó métodos de enseñanza tradicionales se situó en $61,1 \pm 6,1$. Las puntuaciones individuales en el grupo experimental se distribuyeron entre 54 y 86 puntos, mientras que en el control se movieron de 48 a 72. La mediana calculada fue de 72,1 en el conjunto experimental y de 61,0 en el control. Al analizar la variabilidad, el rango intercuartílico del grupo experimental ($Q1 = 66,9$; $Q3 = 78,2$) se amplía en comparación con el del grupo de control ($Q1 = 57,3$; $Q3 = 64,8$), lo que indica que existe una mayor dispersión entre los niveles alcanzados en el primero.

Comparación entre grupos

El análisis comparativo de las medias reveló una diferencia notable de 11.2 puntos entre los grupos. Para determinar la significación de la diferencia, se empleó la prueba t de Student para muestras independientes, la cual arrojó resultados estadísticamente relevantes ($t(118) = 8.96$; $p < 0.001$). Esto respalda la afirmación de que los estudiantes que asistieron a clases en las que se integraron herramientas de inteligencia artificial demostraron puntajes superiores en las mediciones de pensamiento crítico, en contraste con los participantes del grupo control. El tamaño del efecto, calculado mediante Cohen's d, resultó en un valor de 1.42, cifra que, según los criterios de Cohen (1988), se clasifica dentro del rango de gran efecto, lo que indica que la intervención tuvo un efecto cuantitativamente significativo.

Asociaciones y vínculos causales

Las correlaciones examinadas entre el puntaje de razonamiento crítico y variables como el acceso a equipos, la conectividad domiciliaria y la familiaridad previa con entornos digitales revelaron una relación positiva moderada ($r = 0.48$; $p < 0.01$) entre la presencia de conectividad domiciliaria y el puntaje de los estudiantes del grupo experimental; el grupo control, en contraste, no mostró correlaciones significativas.

En el mismo orden de ideas, un análisis de covarianza (ANCOVA) controlando el puntaje basal en Física demostró que el tipo de intervención –uso de IA comparado con un abordaje tradicional– explica una proporción significativa de la varianza en los puntajes finales de razonamiento crítico ($F(1,117) = 41.63$; $p < 0.001$).

Resultados cualitativos

Se codificaron y analizaron un total de 8 entrevistas a docentes y 4 grupos focales con estudiantes, utilizando el software ATLAS.ti v.23. El proceso de codificación arrojó las siguientes categorías emergentes:

Categoría principal	Subcategorías identificadas	Frecuencia
Interacción con IA	Tutoría personalizada, retroalimentación activa	42
Cambio en estrategias mentales	Metacognición, razonamiento causal	36
Motivación y autonomía	Curiosidad, autorregulación	29
Dificultades técnicas	Acceso a dispositivos, conectividad	17

Fragmentos representativos

Docente 3 (transcripción):

“Los estudiantes empezaron a justificar más sus respuestas. Antes respondían con fórmulas; ahora preguntan por qué se aplica esa fórmula en ese contexto.”

Estudiante del grupo experimental:

“El simulador me ayudó a ver el experimento que nunca habíamos podido hacer en el laboratorio. Yo mismo podía cambiar los valores y ver qué pasaba, eso me hizo pensar más.”

Estudiante del grupo control:

“Todo fue igual que siempre. Nos explicaron los temas y resolvimos ejercicios. Estuvo bien, pero no hubo nada diferente.”

Análisis de significado

El análisis semántico revela que los educandos que interactuaron con herramientas de inteligencia artificial lograron modalidades de razonamiento más sistemáticas y críticas, particularmente durante la resolución de problemas complejos. El profesorado constató un incremento en la participación activa, así como una mayor profundidad en los argumentos expuestos, tanto de manera oral como escrita. En comparación, el grupo control no mostró alteraciones evidentes en sus estrategias cognitivas.

Los relatos recabados también apuntan a dificultades técnicas: la conectividad irregular en algunas zonas de Quevedo y la carencia de dispositivos personales restringieron el acceso continuo a las herramientas de IA, si bien la mayor parte de las sesiones tuvieron lugar en laboratorios escolares.

Síntesis interpretativa

Los datos cuantitativos indican que el uso de herramientas de inteligencia artificial ha producido un incremento considerable y estadísticamente relevante en el desarrollo del pensamiento crítico en cursos de Física. Esta conclusión se respalda con datos cualitativos que delinean los procesos mediadores de este fenómeno: una visualización más efectiva de los contenidos, la provisión de retroalimentación inmediata y personalizada, la promoción de un acceso autónomo a las fases de indagación y una mejora general en las competencias metacognitivas del alumnado. Sin embargo, se identifican obstáculos persistentes vinculados a la infraestructura digital y a la capacitación continua de los docentes, particularmente en las áreas rurales y semiurbanas de Quevedo.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio proporcionan evidencia robusta acerca de los beneficios que la inclusión de herramientas de inteligencia artificial (IA) reporta sobre el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de Bachillerato General Unificado (BGU) durante la enseñanza de la Física. Una diferencia media de 11.2 puntos en las puntuaciones de pensamiento crítico, que se manifiesta de modo significativo entre los grupos experimental y

control y que presenta además un tamaño del efecto notablemente grande ($d = 1.42$), respalda la hipótesis de trabajo según la cual la mediación didáctica de la IA fortalece las competencias cognitivas de orden superior. Este resultado concuerda con la documentación reciente que enfatiza el valor de los entornos de aprendizaje potenciados por IA para estimular el razonamiento argumentativo y la resolución de problemas de elevada complejidad (Zawacki-Richter et al., 2019; Holmes et al., 2022).

En un primer nivel de análisis, los resultados cuantitativos corroboran la validez pedagógica de los agentes conversacionales, los simuladores inteligentes y los asistentes de resolución de problemas como instrumentos de enseñanza. Estas tecnologías habilitaron a los alumnos para indagar sobre los conceptos físicos de forma interactiva, recibieron retroalimentación instantánea y consiguieron representar fenómenos abstractos a través de graficaciones dinámicas. La combinación de tales características propicia el surgimiento del pensamiento divergente, la valoración crítica de hipótesis alternativas y una toma de decisiones informada; todos componentes constitutivos del pensamiento crítico (Chen et al., 2020). La ventaja cuantitativa observada en el grupo experimental no puede ser atribuida en exclusiva al contenido del currículo, pues los dos colectivos abordaron las mismas unidades temáticas. Consecuentemente, el incremento logrado debe ser asignado a la mediación tecnológica inteligente.

En segundo lugar, la indagación cualitativa sostiene la conclusión anterior. Los relatos recabados de estudiantes y docentes evidencian un giro en la manera de aproximarse al saber: se percibe un tránsito de la repetición y la memorización a dinámicas de reflexión y construcción argumentativa. Este patrón coincide, a su vez, con los hallazgos de Luckin et al. (2016), quienes argumentan que la inteligencia artificial, si se integra de manera pertinente en el aula, funciona como un “espejo cognitivo” que estimula la autorregulación y la metacognición. Las categorías que han surgido en el análisis —interacción con la IA, transformación de estrategias mentales, incremento de la motivación y fortalecimiento de la autonomía— sitúan a los estudiantes del grupo experimental en un contexto de aprendizaje que, por su naturaleza, se revela más profundo y significativo.

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que los efectos de la inteligencia artificial carecen de uniformidad y se ven modulados por factores contextuales tales como la infraestructura tecnológica y la disponibilidad de conectividad. En la muestra analizada, la correlación positiva observada entre la conectividad domiciliaria y los indicadores de pensamiento crítico del grupo experimental ($r = 0.48$; $p < 0.01$) sugiere que la infraestructura digital actúa como un condicionante en la eficacia de las estrategias pedagógicas que incorporan inteligencia artificial. Tal limitación estructural se articula con la información proporcionada por el Ministerio de Educación del Ecuador (2024), que señala que únicamente el 54.76 % de los establecimientos educativos fiscales dispone de conectividad orientada a la enseñanza, lo que plantea dificultades para la sustentabilidad de las

intervenciones, a menos que se complementen con inversiones dirigidas a la expansión de la infraestructura tecnológica.

Los datos obtenidos reiteran que la inteligencia artificial, en ausencia de un diseño educativo intencionado, no produce automáticamente aprendizajes que alteren de forma duradera las comprensiones de los alumnos. Su efectividad está mediada por la planificación curricular, la capacitación de los docentes y las orientaciones pedagógicas que guían la práctica. En el presente estudio, se elaboró una intervención anclada en el modelo 5E, en la que las aplicaciones de IA se insertaron dentro de una secuencia didáctica diseñada para el aprendizaje activo. Esta disposición impidió la mera sustitución digital de las actividades tradicionales, un riesgo habitual en los ciclos de innovación tecnológica en la educación (Rodríguez-Triana et al., 2021).

Respecto a la interrogante de investigación —¿de qué modo la implementación de herramientas de IA afecta el desarrollo del pensamiento crítico en la enseñanza de la Física?—, los resultados permiten afirmar que la influencia es positiva y estadísticamente significativa. Ambas hipótesis del estudio encuentran respaldo: (H1) la intervención mediada por IA incrementa las habilidades de pensamiento crítico, y (H2) la inclusión de recursos inteligentes estimula una mayor participación activa y una resolución argumentada y fundamentada de problemas. En consecuencia, se enriquece la comprensión del reto educativo inicial: la enseñanza tradicional de la Física puede sentirse superada por la creación de entornos de aprendizaje que, al ser adaptativos e interactivos, favorecen el pensamiento de orden superior.

El presente estudio confronta limitaciones que es preciso señalar. En primer término, el tamaño muestral, que es adecuado para el tipo de contraste estadístico empleado, se circunscribió a la localidad de Quevedo, en la provincia de Los Ríos, lo que restringe la extrapolación de los hallazgos a otros territorios rurales o amazónicos donde el acceso y la infraestructura tecnológica presentan niveles más deficientes. En segundo lugar, la intervención se extendió durante un periodo de ocho semanas, lo que impide la valoración de efectos a mediano y largo plazo, así como el examen de la estabilidad del impacto observado. En tercer lugar, a pesar de que se aplicó un procedimiento de triangulación de datos y se sometieron a validación los instrumentos de recolección, se omitieron mediaciones cuantitativas de índole emocional o motivacional que, de haberse incluido, habrían fortalecido la profundidad del análisis.

La amplificación de la dispersión en el grupo experimental, evidenciada por un rango intercuartílico comparativamente más extenso, constituye un hallazgo de especial relevancia. Este patrón indica que, a pesar de que la inteligencia artificial recorre una senda de mejora sostenida en el rendimiento promedio, el beneficio observado dista de ser uniforme, sugiriendo que el aprovechamiento diferencial podría asociarse a variables tales como el dominio inicial de competencias digitales, estilos de aprendizaje contrastantes o niveles variables de motivación. La heterogeneidad motivada por la mediación de la IA, por tanto, abre un abanico

de interrogantes que exigen el próximo avance en la indagación: ¿cuáles rasgos individuales parecen catalizar un rendimiento intensificado al interactuar con la IA educativa? ¿De qué modos podrían las interfaces adaptarse de manera aún más granular para armonizarse con perfiles estudiantiles divergentes?

Asimismo, el levantamiento de datos evidenció la persistencia de barreras estructurales, fundamentalmente vinculadas a la calidad de los dispositivos y la estabilidad de la conectividad, las cuales limitaron la factibilidad de un uso plenamente eficaz de las propuestas tecnológicas en determinados escenarios. Este retrato técnico sintoniza con la literatura de casos en América Latina, que advierte que la economía política de la inclusión digital, si no articula simultáneamente el acceso, la formación docente continua y el resguardo de soporte técnico, corre el riesgo de convertir las herramientas innovadoras en mecanismos que, lejos de suavizar, acentúan las fracturas socio-educativas preexistentes (UNESCO, 2022; CEPAL, 2023).

El trabajo presentado ofrece, por tanto, aportes tanto para la práctica educativa como para el desarrollo teórico en la intersección entre la inteligencia artificial y la enseñanza de la Física. Desde la práctica, se sugiere que los responsables de la formulación de políticas educativas promuevan la incorporación escalonada de tecnologías de IA en los planes de estudio de Ciencias, priorizando la Física, y que complementen esta inclusión con planes de capacitación docente permanente y con la mejora de la infraestructura tecnológica existente. Desde el ámbito teórico, se enriquece el corpus de conocimiento con un modelo analítico que articula el aporte de la IA al pensamiento crítico, fundiendo perspectivas socioconstructivistas y estrategias de aprendizaje adaptativo.

En síntesis, una introducción cuidadosa y pedagógica de herramientas de IA en la enseñanza de la Física tiene el potencial de impactar positivamente el fortalecimiento del pensamiento crítico en alumnos de educación secundaria. Los resultados obtenidos coinciden con hallazgos recientes en la literatura internacional y con los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador 2021–2025, subrayando la urgencia de transitar hacia sistemas educativos más flexibles, justos y centrados en el aprendiz. Los próximos estudios deberán centrar su atención en la persistencia de estos efectos, su posible adaptación a distintos escenarios y su vinculación con políticas de inclusión digital que busquen eliminar las desigualdades en el acceso a la tecnología educativa.

5. CONCLUSIÓN

El presente estudio examina el escaso avance del pensamiento crítico en la enseñanza de la Física a nivel de Bachillerato General Unificado (BGU) en Ecuador, particularmente en colegios fiscales, donde persisten predominantemente las metodologías tradicionales. Ante este panorama, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿de qué manera la implementación de herramientas de inteligencia artificial (IA) impacta el desarrollo del pensamiento crítico en

las lecciones de Física? El propósito central reside en valorar el efecto pedagógico de la incorporación de recursos de IA en el proceso de enseñanza-aprendizaje, analizando tanto evidencias cuantitativas como cualitativas.

Los datos obtenidos sustentan la conclusión de que la integración de tecnologías fundamentadas en inteligencia artificial —incluyendo simuladores cognitivos, asistentes de diálogo y entornos de retroalimentación automatizada— propicia un avance apreciable en las competencias de pensamiento crítico de los alumnos. El colectivo experimental, que utilizó dichos recursos, exhibe un promedio de puntuación superior en más de 11 unidades en comparación con el colectivo de referencia, observándose diferencias de naturaleza estadística significativa ($p < 0.001$). El índice de magnitud del efecto (d de Cohen = 1.42) consolida esta constatación. Complementariamente, el análisis cualitativo muestra una transformación en las estrategias cognitivas y en el discurso de los aprendices sometidos a la intervención, evidenciando un enriquecimiento en el razonamiento argumentativo, una intensificación de la curiosidad científica y un incremento de la autonomía intelectual.

La validación de la hipótesis formulada en la introducción se sostiene: la integración pedagógica de la inteligencia artificial en los cursos de física no solo potencia los rendimientos académicos, sino que cataliza cambios en la conformación del pensamiento disciplinar del estudiante. Este resultado reviste especial significación en el marco ecuatoriano, donde, conforme a la información del Ministerio de Educación (2024), poco más del 45% de los planteles públicos dispone de acceso sistemático a dispositivos digitales y a conectividad educativa, condición que restringe las alternativas de renovación metodológica. La incorporación de IA, por tanto, se configura como un recurso para rediseñar la enseñanza de las ciencias en contextos de restricciones estructurales, a condición de que se articule con programas de capacitación docente y con el rediseño de la infraestructura.

La novedad del presente estudio radica en su aplicación situada en un medio urbano intermedio —la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos— que sintetiza rasgos comunes a múltiples regiones de América Latina: brechas digitales permanentes, herencia de pedagogías tradicionales y escasez de evidencias empíricas sobre la efectividad de la IA en la práctica educativa. A diferencia de indagaciones previas basadas en laboratorios de simulación o en escenarios artificiales, la presente investigación recauda información en contextos escolares auténticos, lo que incrementa la validez ecológica de las inferencias formuladas.

Los resultados de esta investigación alimentan el debate académico sobre la integración de la inteligencia artificial en la educación secundaria, mostrando que, si se emplean con propósito pedagógico, estos artefactos tecnológicos pueden potenciar el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes. La indagación se sitúa, por tanto, en la confluencia de la tecnología educativa, la neurociencia del aprendizaje y la didáctica de las ciencias, y sugiere que la transformación educativa inducida por la digitalización no puede articularse únicamente en

términos de cobertura tecnológica, sino que debe concentrarse en la mejora de los diálogos cognitivos que la tecnología hace posible.

Sobre esta base, se exhorta a los responsables de políticas y a los diseñadores de currículos a incorporar de forma gradual las herramientas de inteligencia artificial en la enseñanza de las ciencias experimentales, centrando primero la Física, y a complementarlas con programas sistemáticos de formación docente que capaciten en el diseño instruccional y en el uso ético de estos recursos. Se aconseja, además, que la asignación de recursos públicos se dirija, con carácter prioritario, a la mejora de la infraestructura digital en las escuelas estatales, en coherencia con las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 y con los compromisos que México ha asumido en el marco del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, orientado a garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad.

Las líneas futuras de investigación deberán centrarse en la implementación de estudios longitudinales que revelen la resistencia temporal del impacto obtenido, así como en la realización de análisis comparativos que confronten entornos rurales y urbanos, a fin de identificar condiciones de equidad en la adopción de tecnologías de inteligencia artificial. Es igualmente pertinente investigar la interrelación entre la IA y factores afectivo-motivacionales del aprendizaje, y avanzar en el diseño de modelos predictivos que utilicen la trazabilidad de datos generados por estas plataformas para anticipar el rendimiento cognitivo de los estudiantes.

El estudio evidencia que la inteligencia artificial, cuando se inserta en la enseñanza de la Física según una planificación didáctica explícita y orientada, se configura como un recurso válido para la estimulación del pensamiento crítico en bachillerato. Los datos analizados permiten resolver el interrogante inicial, ofreciendo una interpretación empírica, teórica y enraizada en el contexto que explica el papel de la IA como catalizador del aprendizaje profundo en escenarios educativos de complejidad. Los resultados reafirman la convocatoria a una renovación de la educación científica que sea igualmente innovadora, inclusiva y orientada al desarrollo de competencias propias del siglo XXI.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caballero-González, Y. A., Hernández-Rodríguez, J., & Martínez-Vera, G. (2022). Promoción del pensamiento crítico en clases de física mediante estrategias activas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1), 1101–1117. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1101
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial Intelligence in Education: A Review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>

- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Center for Curriculum Redesign.
- Jonassen, D. H. (2000). Computers as Mindtools for Schools: Engaging Critical Thinking. Prentice Hall.
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. Pearson Education.
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2023). Manual de Fichas Metodológicas Vol. 2. Dirección Nacional de Análisis e Información Educativa.
- Ministerio de Educación del Ecuador (MINEDUC). (2022). Marco Nacional de Aprendizajes. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Educación del Ecuador (MINEDUC). (2023). Estadísticas educativas: Reporte de conectividad y desempeño académico. Quito, Ecuador
- Ministerio de Educación del Ecuador (MINEDUC). (2024). *Agenda Educativa Digital 2024–2025. Quito, Ecuador
- OECD. (2021). Skills for 21st Century Learners: OECD Learning Framework 2030.
- Rodríguez-Triana, M. J., Martínez-Monés, A., & Hernández-Leo, D. (2021). Artificial Intelligence in Support of Teachers' Decision-Making: The State of the Art and Future Challenges. British Journal of Educational Technology, 52(3), 1189–1206. <https://doi.org/10.1111/bjet.13092>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador 2021–2025: Creando Oportunidades.
- Spector, J. M. (2020). Conceptualizing the Emerging Field of Smart Learning Environments. Interactive Learning Environments, 28(5), 545–560. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1723027>
- UNESCO. (2022). Futures of Education: A New Social Contract.
- Vygotsky, L. S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., 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(1), 39.
<https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>