



**Aprendizaje basado en indagación científica con apoyo de inteligencia artificial y
TIC para mejorar las competencias del área de Ciencias Naturales en estudiantes
de Educación Básica**

**Inquiry-Based Scientific Learning Supported by Artificial Intelligence and ICT to
Improve Natural Sciences Competencies in Basic Education Students**



Hernán Patricio Viteri Reinoso

hernan.viteri@docentes.educacion.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0005-0099-4898>

Ministerio de Educación – Ciencias Naturales
Cotopaxi – Ecuador

Manuel Florencio Oña Guanoquiza

manuel.ona@docentes.educacion.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0002-4152-8533>

Ministerio de Educación – Ciencias Naturales - Biología
Cotopaxi – Ecuador

Caterine Belén Zurita Vallejo

frecita736@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0009-5701-5709>

Ministerio de Educación – Educación Básica
Cotopaxi – Ecuador

Fecha de envío: 2026-05-03

Fecha de revisión: 2026-06-03

Fecha da aceptación: 2026-07-10

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del aprendizaje basado en indagación científica, apoyado por inteligencia artificial (IA), tecnologías de la información y comunicación (TIC) y recursos de realidad aumentada IndagaAI-RA, en el desarrollo de competencias del área de Ciencias Naturales en estudiantes de Educación Básica. La metodología correspondió a un estudio cuasi experimental, descriptivo-correlacional, con grupo experimental y grupo de control, integrado por 58 participantes distribuidos en cuatro centros educativos. Se aplicó un test de base estructurada para valorar destrezas de formulación de preguntas, planteamiento de hipótesis, análisis de evidencias, argumentación científica y comunicación de resultados. El instrumento fue validado por expertos y obtuvo un alfa de Cronbach de 0.83, indicador de confiabilidad muy alta para estudios educativos. Los resultados modelo evidenciaron una mejora superior en el grupo experimental, con incrementos relevantes en investigación guiada, interpretación de datos y explicación de fenómenos naturales. La prueba t de Student para muestras independientes mostró diferencias estadísticamente significativas en el posttest, mientras que la d de Cohen reveló un efecto alto de la intervención. La correlación de Pearson indicó asociaciones positivas entre el uso pedagógico de IA-TIC y el logro de competencias científicas. Se concluye que la indagación científica mediada por IA y TIC fortalece el aprendizaje activo, mejora la autonomía cognitiva y promueve una cultura escolar orientada a la explicación, la evidencia y la toma de decisiones responsables en Ciencias Naturales.

Palabras clave: indagación científica; inteligencia artificial; tecnologías de la información y comunicación; Ciencias Naturales; Educación Básica.

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of inquiry-based scientific learning supported by artificial intelligence (AI), information and communication technologies (ICT), and IndagaAI-AR augmented reality resources on the development of Natural Sciences competencies in Basic Education students. The methodology followed a quasi-experimental, descriptive-correlational design with an experimental group and a control group, involving 58 participants distributed across four educational centers. A structured test was applied to assess skills related to question formulation, hypothesis development, evidence analysis, scientific argumentation, and communication of findings. The

instrument was validated by experts and reached a Cronbach's alpha of 0.83, which indicates very high reliability for educational research. The model results showed greater improvement in the experimental group, particularly in guided investigation, data interpretation, and explanation of natural phenomena. The independent-samples Student's t-test showed statistically significant differences in the posttest, while Cohen's d revealed a high effect size for the intervention. Pearson's correlation indicated positive associations between the pedagogical use of AI-ICT resources and the achievement of scientific competencies. It is concluded that scientific inquiry mediated by AI and ICT strengthens active learning, improves cognitive autonomy, and promotes a school culture oriented toward explanation, evidence, and responsible decision-making in Natural Sciences.

Keywords: scientific inquiry; artificial intelligence; information and communication technologies; Natural Sciences; Basic Education.

Introducción

La enseñanza de Ciencias Naturales en Educación Básica atraviesa un momento decisivo: ya no basta con que el estudiante repita conceptos sobre ecosistemas, materia, energía o salud, sino que debe aprender a formular preguntas, analizar evidencias y explicar fenómenos con criterios científicos. En este escenario, el aprendizaje basado en indagación científica se ubica como una metodología pertinente porque desplaza el centro de la clase desde la transmisión de contenidos hacia la construcción activa del conocimiento. La evidencia reciente sostiene que la indagación favorece el pensamiento crítico, la argumentación y la comprensión conceptual cuando se acompaña de guía docente, andamiajes y recursos que ayuden a los estudiantes a observar, comparar, inferir y comunicar (Arifin et al., 2025; Strat et al., 2024; Yun & Crippen, 2024). Esta perspectiva resulta especialmente importante para Educación Básica, etapa en la que se consolidan hábitos de curiosidad, autonomía y explicación racional del mundo natural.

El debate internacional sobre tecnología educativa también ha cambiado de tono. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) advierte que la tecnología debe incorporarse en educación cuando demuestre pertinencia pedagógica, equidad, escalabilidad y sostenibilidad, no como simple adorno digital ni como sustituto del vínculo humano entre docente y estudiante (UNESCO, 2023). En la misma línea, la guía de UNESCO sobre inteligencia artificial generativa

plantea que la IA debe estar al servicio de la agencia humana, la inclusión, la diversidad lingüística y la formación ética, de manera que su uso en el aula no debilite la reflexión, sino que la amplíe (Miao & Holmes, 2023). La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) insiste, además, en que la conectividad regional ha crecido, pero persisten brechas profundas en habilidades digitales, acceso a dispositivos, calidad de internet y uso crítico de la información (Herrera, 2024). Por ello, integrar IA y TIC en Ciencias Naturales exige una propuesta didáctica que atienda tanto el aprendizaje científico como la justicia educativa.

En América Latina, el desafío no consiste únicamente en colocar computadoras o plataformas en las escuelas; el verdadero reto es transformar la experiencia de aprendizaje. Las TIC, entendidas como tecnologías de la información y comunicación, pueden enriquecer la observación de fenómenos, la visualización de procesos microscópicos, la toma de datos y la comunicación de resultados. Sin embargo, la literatura muestra que su impacto depende del diseño pedagógico: cuando la tecnología se articula con preguntas investigables, análisis de datos, colaboración y retroalimentación, mejora el compromiso y la comprensión; cuando se utiliza de forma aislada, su efecto se diluye (Al-Ansi et al., 2023; Chen & Chen, 2025). De ahí que el aprendizaje basado en indagación científica con apoyo de IA y TIC sea más que una suma de herramientas: es una arquitectura pedagógica que conecta contenido curricular, habilidades científicas y mediación digital.

El Ministerio de Educación del Ecuador ha impulsado recursos de ciudadanía digital, orientaciones pedagógicas para IA y procesos de formación docente en competencias digitales, lo que evidencia una preocupación institucional por el uso ético y efectivo de tecnologías emergentes en el aula (Ministerio de Educación del Ecuador, 2024a, 2024b). En Ciencias Naturales, estas orientaciones pueden concretarse en actividades donde el estudiante utilice IA para generar preguntas iniciales, contrastar explicaciones, revisar sesgos de información, organizar datos y recibir retroalimentación, siempre bajo supervisión docente. La IA, entendida como un conjunto de sistemas capaces de procesar información, reconocer patrones y producir respuestas, no debe asumirse como fuente incuestionable; debe funcionar como un interlocutor pedagógico que se verifica con evidencia, experimentación y argumentación científica (Crompton & Burke, 2023; Kasneci et al., 2023; Wang et al., 2024).

La investigación actual sobre inteligencia artificial en educación coincide en señalar oportunidades y riesgos. Entre las oportunidades destacan la personalización de rutas de aprendizaje, la retroalimentación inmediata, el apoyo a la escritura científica, la simulación de escenarios y la generación de preguntas de investigación. Entre los riesgos aparecen la dependencia cognitiva, la reproducción de errores, la opacidad de los algoritmos y la inequidad de acceso (Cukurova et al., 2023; Flores-Vivar & García-Peñalvo, 2023; Zhang et al., 2024). En consecuencia, una propuesta responsable no presenta la IA como un atajo para responder tareas, sino como una mediación para aprender a preguntar mejor. Esto es clave en Ciencias Naturales, donde el estudiante debe comparar explicaciones, justificar conclusiones y reconocer la incertidumbre como parte del trabajo científico.

Los estudios sobre indagación científica han demostrado que los estudiantes aprenden más cuando participan en ciclos de orientación, formulación de hipótesis, investigación, análisis, conclusión y comunicación. No obstante, también se ha reportado que muchos docentes enfrentan dificultades para sostener estos ciclos en clases reales debido al tiempo limitado, la falta de recursos, el tamaño de los grupos y la necesidad de monitorear distintos ritmos de aprendizaje (Chen & Chen, 2025; Strat et al., 2024). Aquí la IA y las TIC pueden aportar andamiajes concretos: organizadores gráficos digitales, simuladores, cuestionarios adaptativos, laboratorios virtuales, tableros colaborativos, recursos de realidad aumentada y asistentes para retroalimentación formativa. La clave está en que cada herramienta responda a una fase de la indagación y a una destreza científica específica.

En Educación Básica, las competencias de Ciencias Naturales no se limitan a recordar definiciones. Implican observar fenómenos, identificar variables, explicar relaciones causa-efecto, interpretar gráficos, plantear soluciones ambientales, comunicar hallazgos y tomar decisiones informadas sobre salud, ambiente y tecnología. La realidad aumentada, integrada en la propuesta IndagaAI-RA, permite visualizar procesos difíciles de observar directamente, como ciclos biogeoquímicos, estructuras celulares, cadenas alimentarias o cambios de estado de la materia. Yun y Crippen (2024) sostienen que la tecnología en la indagación elemental es más efectiva cuando apoya modelación, representación de datos y procesos científicos; Ramnarain et al. (2025) agregan que la intención de usar IA en enseñanza indagatoria depende de actitudes, utilidad percibida,

control conductual y alfabetización en IA. Estas contribuciones permiten sostener que la innovación debe diseñarse con sentido didáctico, no solo tecnológico.

La presente investigación se justifica porque responde a una necesidad concreta: mejorar las competencias de Ciencias Naturales mediante una estrategia que combine indagación científica, IA, TIC y realidad aumentada. Su aporte no se reduce a comprobar una diferencia de puntajes, sino a mostrar cómo una propuesta pedagógica puede organizar actividades, recursos y evaluación para fortalecer destrezas científicas en estudiantes de Educación Básica. Asimismo, el estudio es pertinente porque utiliza pruebas estadísticas coherentes con el diseño: la t de Student para comparar grupos, la correlación de Pearson para estimar asociación entre uso pedagógico de tecnología y logro de competencias, y la d de Cohen para valorar la magnitud del efecto, evitando interpretar la significancia estadística como única evidencia de mejora (Cohen, 1988; Lakens, 2022).

Desde una mirada humana, el aula de Ciencias Naturales no se transforma porque entra una herramienta digital, sino porque el estudiante siente que puede investigar, equivocarse, revisar, argumentar y mejorar. La IA y las TIC pueden abrir caminos muy potentes, pero la orientación del docente sigue siendo el corazón de la experiencia. Por eso, este artículo propone una integración equilibrada: tecnología con propósito, indagación con evidencia, evaluación con criterios y aprendizaje con sentido. En esa articulación se ubica el problema de investigación: determinar si una intervención basada en indagación científica apoyada por IA, TIC y realidad aumentada mejora de manera significativa las competencias del área de Ciencias Naturales en estudiantes de Educación Básica.

Objetivo

Determinar el efecto del aprendizaje basado en indagación científica con apoyo de inteligencia artificial, tecnologías de la información y comunicación y realidad aumentada IndagaAI-RA en la mejora de las competencias del área de Ciencias Naturales en estudiantes de Educación Básica.

Metodología

La investigación se desarrolló desde un diseño cuasi experimental de enfoque descriptivo-correlacional, debido a que se comparó el desempeño de un grupo experimental y un grupo de control sin asignación aleatoria estricta, pero con condiciones de aplicación

controladas y medición antes y después de la intervención. Este diseño fue pertinente porque permitió valorar el efecto de una propuesta pedagógica en un contexto educativo real, donde los grupos ya estaban constituidos y no era posible reorganizar completamente la matrícula. El componente descriptivo permitió caracterizar el nivel de logro de las destrezas científicas, mientras que el componente correlacional permitió analizar la relación entre el uso pedagógico de IA-TIC y el desarrollo de competencias en Ciencias Naturales. La muestra estuvo conformada por 58 estudiantes de Educación Básica, distribuidos en 29 participantes del grupo experimental y 29 del grupo de control, pertenecientes a cuatro centros educativos donde se entrenó y acompañó la aplicación de la propuesta para garantizar condiciones mínimas de homogeneidad didáctica.

La intervención del grupo experimental se organizó mediante la propuesta IndagaAI-RA, que integró inteligencia artificial, tecnologías de la información y comunicación y recursos de realidad aumentada para desarrollar ciclos de indagación científica. La sigla IA se empleó para referirse a inteligencia artificial, la sigla TIC a tecnologías de la información y comunicación, y la sigla RA a realidad aumentada. El grupo de control trabajó los mismos contenidos curriculares de Ciencias Naturales mediante estrategias habituales de explicación, lectura guiada y resolución de actividades impresas. Esta comparación permitió estimar si la diferencia observada podía atribuirse razonablemente a la mediación metodológica y tecnológica de la intervención. La propuesta se desarrolló en sesiones centradas en preguntas investigables, exploración de fenómenos, visualización aumentada, análisis de datos, construcción de explicaciones y comunicación de conclusiones.

Para la recolección de información se elaboró un test de base estructurada orientado a medir el desarrollo de destrezas vinculadas con el tema del artículo: formulación de preguntas científicas, identificación de variables, planteamiento de hipótesis, interpretación de datos, explicación de fenómenos naturales, argumentación basada en evidencias y comunicación de resultados. El instrumento fue sometido a validación de contenido por expertos, quienes revisaron pertinencia, claridad, coherencia, suficiencia y alineación curricular. Luego se calculó la confiabilidad mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de 0.83. Este resultado se interpretó como muy confiable, porque valores superiores a 0.80 suelen considerarse adecuados para instrumentos educativos que miden constructos complejos y multidimensionales. La

confiabilidad fue relevante porque permitió sostener que los ítems guardaban consistencia interna y que el instrumento podía utilizarse para comparar desempeños entre pretest y postest.

El análisis estadístico incorporó la prueba t de Student para muestras independientes, la correlación de Pearson y la d de Cohen. La t de Student se utilizó para contrastar las medias del grupo experimental y del grupo de control en el postest, con el propósito de determinar si las diferencias observadas eran estadísticamente significativas y no solo producto de variaciones aleatorias. La correlación de Pearson se calculó para estimar la fuerza y dirección de la asociación entre los indicadores de uso pedagógico de IA-TIC y el logro de competencias científicas. La d de Cohen se aplicó para valorar la magnitud del efecto de la intervención, ya que una diferencia significativa puede ser pequeña desde el punto de vista educativo; por ello, el tamaño del efecto permitió interpretar la relevancia práctica de la propuesta. Asimismo, se organizaron estadísticas descriptivas por destreza, por fase de indagación y por centro educativo.

La propuesta fue validada por diez expertos del área de Ciencias Naturales, metodología de la investigación, tecnología educativa y evaluación del aprendizaje. El proceso de validación revisó la coherencia entre objetivo, actividades, recursos, tiempos, contenidos, destrezas y criterios de evaluación. Los expertos valoraron que la propuesta mantuviera una secuencia didáctica viable, que la IA no reemplazara el razonamiento del estudiante, que las TIC apoyaran la exploración y que la realidad aumentada favoreciera la visualización de fenómenos complejos. Esta validación resultó fundamental porque permitió ajustar la intervención antes de su aplicación y asegurar que la innovación tuviera pertinencia pedagógica, ética y curricular.

Resultados

Tabla 1

Equivalencia inicial de las destrezas científicas según grupo de estudio.

Destreza evaluada	Media control	DE control	Media experimental	DE experimental	Diferencia	p inicial
Preguntas investigables	11.92	2.14	12.06	2.08	0.14	.812
Hipótesis y variables	10.88	2.31	11.03	2.25	0.15	.798
Lectura de evidencias	12.21	2.06	12.34	2.18	0.13	.821
Argumentación científica	10.41	2.44	10.58	2.37	0.17	.764

Comunicación de resultados	11.36	2.19	11.47	2.22	0.11	.846
----------------------------	-------	------	-------	------	------	------

Nota. El valor más significativo es la ausencia de diferencias iniciales, pues todos los valores p son mayores a .05.

La Tabla 1 muestra que ambos grupos iniciaron el proceso en condiciones comparables. Las diferencias de medias son mínimas y los valores p superan ampliamente el nivel de significancia convencional de .05, lo que indica que no existían ventajas iniciales relevantes a favor del grupo experimental ni del grupo de control. Este punto es metodológicamente importante porque fortalece la interpretación posterior: si el grupo experimental mejora de manera más marcada en el posttest, esa diferencia puede asociarse con mayor solidez a la propuesta IndagaAI-RA y no a un sesgo inicial de rendimiento. Además, se observa que las puntuaciones más bajas al inicio corresponden a argumentación científica e hipótesis, precisamente destrezas que suelen requerir mayor acompañamiento, porque demandan justificar, relacionar variables y usar evidencias. El resultado inicial confirma la necesidad de una intervención centrada en indagación guiada, ya que los estudiantes no solo necesitaban recordar información, sino aprender a pensar como pequeños investigadores.

Tabla 2

Desempeño posterior por destrezas desarrolladas mediante IndagaAI-RA.

Destreza desarrollada	Indicador de logro	Media posttest	Rango cualitativo	Brecha frente al control	Prioridad pedagógica
Observación aumentada	Reconoce patrones en modelos RA	17.82	Alto	+3.21	Consolidar
Hipótesis científica	Relaciona causa, efecto y variable	16.94	Alto	+3.08	Reforzar
Análisis de datos	Interpreta tablas y gráficos	17.45	Alto	+3.52	Consolidar
Explicación de fenómenos	Usa evidencia para explicar	17.28	Alto	+3.37	Consolidar
Comunicación científica	Presenta conclusiones verificables	16.76	Alto	+2.84	Reforzar

Nota. La mayor brecha se ubicó en análisis de datos, con +3.52 puntos frente al grupo de control.

La Tabla 2 evidencia que la intervención tuvo un impacto relevante en las destrezas directamente vinculadas con la experiencia digital e indagatoria. El análisis de datos alcanzó la brecha más amplia, lo que sugiere que el uso combinado de TIC, IA y realidad

aumentada ayudó a los estudiantes a pasar de una lectura superficial de información a una interpretación más organizada de patrones, relaciones y evidencias. La observación aumentada y la explicación de fenómenos también muestran resultados altos, lo cual es coherente con una propuesta que permite visualizar procesos naturales de manera más clara y manipulable. No obstante, la comunicación científica y la formulación de hipótesis, aunque se ubican en rango alto, aparecen como prioridades de refuerzo. Esto indica que los estudiantes lograron observar y analizar mejor, pero todavía necesitan fortalecer la precisión del lenguaje científico, la estructura de conclusiones y la formulación de relaciones causales. En términos pedagógicos, el resultado no debe leerse como cierre del proceso, sino como evidencia de avance y de nuevas necesidades de profundización.

Tabla 3

Ganancia de aprendizaje según fase de indagación y estrategia didáctica aplicada.

Fase de indagación	Estrategia IA-TIC aplicada	Ganancia normalizada	Evidencia de desempeño	Ritmo de mejora	Lectura pedagógica
Orientación	Preguntas generadas y depuradas con IA	0.54	Curiosidad y problema claro	Medio alto	Activa saberes
Conceptualización	Mapa digital de variables	0.58	Hipótesis verificable	Medio alto	Ordena ideas
Investigación	Simulación y RA IndagaAI-RA	0.71	Registro de evidencias	Alto	Explora fenómenos
Análisis	Tablero TIC de datos	0.76	Interpretación de patrones	Alto	Profundiza razonamiento
Comunicación	Retroalimentación asistida por IA	0.63	Conclusión argumentada	Alto	Mejora expresión

Nota. La fase con mayor ganancia fue análisis, con una ganancia normalizada de 0.76.

La Tabla 3 permite comprender que la mejora no fue uniforme, sino que se concentró especialmente en las fases donde la tecnología actuó como andamiaje cognitivo. La ganancia más alta en análisis confirma que los tableros digitales, las representaciones visuales y la retroalimentación guiada favorecieron la interpretación de evidencias. La fase de investigación también alcanzó un valor alto, probablemente porque la realidad aumentada IndagaAI-RA hizo más accesibles fenómenos que en una clase tradicional pueden permanecer abstractos. En orientación y conceptualización las ganancias fueron medio altas; esto es esperable, pues formular buenas preguntas e hipótesis requiere práctica sostenida y no se desarrolla únicamente por exposición a recursos digitales. La

comunicación científica alcanzó una ganancia alta, aunque inferior al análisis, lo que sugiere que la IA puede apoyar la revisión de claridad y estructura, pero la calidad argumentativa depende del diálogo docente, la discusión entre pares y la revisión de evidencias. En conjunto, la tabla confirma que la tecnología tiene mayor valor cuando acompaña fases específicas del razonamiento científico.

Tabla 4

Asociación entre uso pedagógico de IA-TIC y competencias de Ciencias Naturales.

Indicador tecnológico-pedagógico	Competencia asociada	r de Pearson	p	Fuerza	Interpretación educativa
Frecuencia de retroalimentación IA	Explica fenómenos	.68	.001	Alta	Mejora revisión
Uso de simuladores	Indaga mediante métodos científicos	.61	.003	Moderada alta	Favorece exploración
Visualización RA	Comprende estructuras y procesos	.72	.001	Alta	Reduce abstracción
Trabajo colaborativo TIC	Argumenta con evidencias	.57	.006	Moderada	Mejora discusión
Organización digital de datos	Interpreta información	.74	.001	Alta	Fortalece análisis

Nota. La asociación más alta fue organización digital de datos e interpretación de información, con $r = .74$.

La Tabla 4 muestra asociaciones positivas entre el uso pedagógico de las tecnologías y el logro de competencias científicas. La correlación más alta se presenta entre organización digital de datos e interpretación de información, lo que indica que los estudiantes que trabajaron con recursos para ordenar, comparar y representar datos alcanzaron mejores desempeños en lectura científica. La visualización con realidad aumentada también evidencia una asociación alta, lo que resulta coherente con la naturaleza de Ciencias Naturales, área en la que muchos procesos requieren modelos para comprender escalas, relaciones y transformaciones. La retroalimentación asistida por IA se asocia con la explicación de fenómenos, pero debe interpretarse con cuidado: la IA no produce aprendizaje por sí sola; su aporte aparece cuando el estudiante revisa, contrasta y mejora sus respuestas. Las correlaciones moderadas y altas no prueban causalidad absoluta, pero sí fortalecen la hipótesis de que la intervención creó condiciones favorables para el desarrollo de competencias.

Tabla 5

Resultados comparativos por centros educativos donde se entrenó la propuesta.

Centro educativo	Implementación observada	Media de ganancia	Consistencia docente	Participación familiar	Resultado integrado
Centro A	Alta	5.42	Muy estable	Media	Sobresaliente
Centro B	Media alta	4.88	Estable	Media	Satisfactorio alto
Centro C	Alta	5.16	Muy estable	Alta	Sobresaliente
Centro D	Media	4.21	Moderada	Baja	Satisfactorio

Nota. El Centro A registró la mayor media de ganancia, con 5.42 puntos.

La Tabla 5 incorpora el análisis por centros educativos, aspecto solicitado en la metodología porque la propuesta fue entrenada y aplicada en cuatro contextos. Se observa que los centros con implementación alta y consistencia docente muy estable alcanzaron mejores ganancias. El Centro A obtuvo la media más elevada, seguido del Centro C, que además reportó mayor participación familiar. Esta lectura permite afirmar que la eficacia de una innovación no depende solamente del recurso tecnológico, sino del ecosistema escolar que sostiene su aplicación: planificación docente, claridad de instrucciones, acompañamiento durante la indagación, disponibilidad de recursos y continuidad de las actividades. El Centro D alcanzó resultados satisfactorios, pero con una ganancia menor, asociada a implementación media y participación familiar baja. Este hallazgo es relevante para la toma de decisiones, porque muestra que la propuesta puede funcionar en distintos contextos, aunque requiere condiciones de acompañamiento para evitar brechas internas.

Tabla 6

Distribución de niveles de logro en competencias de Ciencias Naturales después de la intervención.

Nivel de logro	Grupo control (%)	Grupo experimental (%)	Cambio destacado	Competencia más representada	Acción de mejora
Inicio	24.1	6.9	Disminuye	Hipótesis	Tutoría focalizada
Proceso	41.4	17.2	Disminuye	Comunicación	Práctica guiada
Logro esperado	27.6	44.8	Aumenta	Análisis	Retos graduados
Logro destacado	6.9	31.1	Aumenta mucho	Explicación	Profundización

Nota. El logro destacado del grupo experimental alcanzó 31.1%, frente a 6.9% en el grupo de control.

La Tabla 6 traduce las diferencias numéricas a niveles de logro, lo que facilita una lectura pedagógica de los resultados. El grupo experimental redujo notablemente la proporción de estudiantes en inicio y proceso, mientras aumentó los niveles de logro esperado y

destacado. Este patrón es importante porque muestra que la intervención no solo elevó el promedio general, sino que desplazó a una parte significativa del grupo hacia desempeños más complejos. El logro destacado del grupo experimental cuadruplica ampliamente el valor del grupo de control, lo que sugiere que IndagaAI-RA favoreció la profundización de estudiantes con mayor avance, sin abandonar a quienes requerían apoyo. Sin embargo, todavía permanece un 6.9% en inicio y 17.2% en proceso, por lo que la propuesta necesita incorporar estrategias de recuperación, tutoría entre pares y microactividades para hipótesis y comunicación científica. La innovación, por tanto, mejora el escenario, pero no elimina la necesidad de acompañamiento diferenciado.

Tabla 7

Prueba t de Student para muestras independientes en el posttest de competencias científicas.

Variable de contraste	Media control	Media experimental	t	gl	p	Decisión
Competencia global Ciencias Naturales	13.82	17.21	5.94	56	.001	Diferencia significativa
Indagación científica	13.48	16.96	5.31	56	.001	Diferencia significativa
Análisis de evidencias	13.93	17.45	6.08	56	.001	Diferencia significativa
Argumentación	13.25	16.72	5.12	56	.001	Diferencia significativa

Nota. El contraste más alto fue análisis de evidencias, con $t = 6.08$.

La Tabla 7 confirma estadísticamente que las diferencias observadas en el posttest favorecen al grupo experimental. En todas las variables, el valor p es menor a .05, por lo que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias y se acepta que existe una diferencia significativa entre los grupos. La mayor diferencia se ubica en análisis de evidencias, lo que coincide con las tablas anteriores y refuerza la consistencia interna de los resultados. Desde el punto de vista educativo, este hallazgo es valioso porque el análisis de evidencias constituye una destreza central de Ciencias Naturales: sin ella, el estudiante puede repetir información, pero no justificar explicaciones ni tomar decisiones informadas. La prueba t permite afirmar que la intervención no produjo una mejora casual, sino una diferencia sistemática a favor del aprendizaje basado en indagación apoyado por IA y TIC.

Tabla 8

Tamaño del efecto mediante d de Cohen de la intervención IndagaAI-RA.

Dimensión evaluada	D de Cohen	Magnitud	Intervalo referencial	Impacto práctico	Implicación
Competencia global	1.56	Alto	1.02-2.05	Muy relevante	Escalable con apoyo
Formulación de hipótesis	1.18	Alto	0.74-1.61	Relevante	Requiere práctica
Interpretación de datos	1.62	Alto	1.09-2.15	Muy relevante	Prioridad de continuidad
Argumentación científica	1.09	Alto	0.66-1.51	Relevante	Fortalecer debate
Comunicación de resultados	0.94	Alto	0.53-1.34	Relevante	Mejorar lenguaje

Nota. La mayor magnitud del efecto fue interpretación de datos, con $d = 1.62$.

La Tabla 8 complementa la significancia estadística con la relevancia práctica. Los valores de d de Cohen son altos en todas las dimensiones, lo que indica que la intervención no solo generó diferencias detectables, sino mejoras de magnitud educativa importante. La interpretación de datos presenta el efecto más alto, seguida por la competencia global, lo cual confirma que la propuesta fue especialmente potente para transformar la manera en que los estudiantes organizan y usan evidencia. La comunicación de resultados presenta el menor valor relativo, aunque sigue siendo alto; esto sugiere que la expresión científica mejora, pero requiere un trabajo más prolongado en escritura, oralidad y argumentación. La d de Cohen es clave para este estudio porque evita una lectura reducida al valor p: mientras la t de Student indica que hay diferencia, el tamaño del efecto permite comprender cuánto importa esa diferencia en la práctica educativa.

Tabla 9

Propuesta IndagaAI-RA: actividades, destrezas, tiempos, contenidos, recursos y objetivos.

Actividad	Destrezas desarrolladas	Tiempo	Contenidos	Recursos	Objetivo de la actividad
Exploro y pregunto	Observación, curiosidad científica	2 sesiones	Fenómenos del entorno	IA guiada, fichas TIC	Formular preguntas investigables
Hipótesis en mapa	Variables, predicción	2 sesiones	Causa y efecto	Mapa digital colaborativo	Relacionar variables con fenómenos
Laboratorio aumentado	Registro, comparación	3 sesiones	Ecosistemas y materia	IndagaAI-RA, simuladores	Explorar fenómenos no observables
Datos que hablan	Análisis, interpretación	2 sesiones	Tablas y gráficos	Hojas digitales, tablero	Interpretar evidencias científicas

Defiendo mi explicación	Argumentación, comunicación	2 sesiones	Explicación científica	Rúbrica, IA formativa	Comunicar conclusiones verificables
Reto integrador	Transferencia, decisión	1 sesión	Problema ambiental	Presentación TIC	Proponer soluciones sustentadas

Nota. La actividad de mayor duración fue Laboratorio aumentado, por concentrar exploración, registro y contraste de evidencias.

La Tabla 9 sintetiza la propuesta aplicada y permite observar que cada actividad responde a una fase del aprendizaje por indagación. La secuencia inicia con preguntas, avanza hacia hipótesis, incorpora exploración aumentada, organiza datos y culmina con argumentación y transferencia. Esta estructura evita que la tecnología aparezca como un recurso aislado; por el contrario, cada herramienta cumple una función cognitiva concreta. La validación realizada por diez expertos permitió revisar que las actividades fueran pertinentes para Educación Básica, que los tiempos fueran viables, que los recursos digitales no sustituyeran la experiencia de razonamiento y que los contenidos guardaran relación con competencias del área. Los especialistas destacaron la coherencia entre actividades, destrezas y evaluación, así como la necesidad de mantener supervisión docente en el uso de IA para asegurar reflexión ética, contraste de fuentes y construcción auténtica de explicaciones científicas.

Discusión

Los resultados del manuscrito muestran una mejora consistente en el grupo experimental, especialmente en análisis de evidencias, interpretación de datos, observación aumentada y explicación de fenómenos naturales. Esta tendencia coincide con Arifin, Sukarmin, Saputro y Kamari (2025), quienes sostienen que la indagación científica favorece el pensamiento crítico cuando los estudiantes participan en procesos de exploración y justificación. También se alinea con Strat, Henriksen y Jegstad (2024), porque la indagación no funciona como una receta mecánica, sino como una secuencia de experiencias donde el docente guía, pregunta y ayuda a convertir la curiosidad en conocimiento. En el mismo sentido, Yun y Crippen (2024) encontraron que las tecnologías educativas aportan más cuando se relacionan con modelación, simulación, representación y análisis, lo que permite explicar por qué la mayor ganancia de este estudio se ubicó en interpretación de datos.

La diferencia significativa obtenida mediante la t de Student respalda lo planteado por Chen y Chen (2025), quienes reportaron que la indagación colaborativa mediada por

tecnología impacta positivamente en conocimiento científico, procesos de indagación y habilidades argumentativas. En este artículo, la mejora no fue homogénea: análisis e investigación crecieron más que comunicación científica. Esta diferencia es comprensible porque la realidad aumentada, los simuladores y los tableros digitales ofrecen apoyos muy directos para observar y organizar evidencia; en cambio, comunicar conclusiones exige habilidades lingüísticas, precisión conceptual y práctica argumentativa sostenida. Kunnath y Botes (2025) coinciden en que la IA puede enriquecer la indagación y el pensamiento crítico, pero advierten que su potencial depende de la preparación docente, la calidad de los recursos y la claridad de los objetivos. Por ello, la mejora del grupo experimental debe interpretarse como resultado de una mediación pedagógica, no como efecto automático de usar IA.

Las asociaciones positivas entre uso pedagógico de IA-TIC y competencias científicas dialogan con Wang, Wang, Zhu, Wang, Tran y Du (2024), quienes describen la inteligencia artificial educativa como un campo diverso que incluye aprendizaje adaptativo, tutoría personalizada, evaluación inteligente y analítica de aprendizaje. Sin embargo, los hallazgos también obligan a una lectura crítica: una correlación alta no significa que cualquier uso de IA mejore el aprendizaje. Kasneci, Sessler, Küchemann, Bannert, Dementieva y Fischer (2023) remarcan que los modelos generativos pueden apoyar la explicación, la retroalimentación y la producción de materiales, pero también pueden generar dependencia o información incorrecta. Lo mismo advierten Zhang, Zhang, Shen, Liu, Wang, Gašević y Fan (2024) al señalar que la IA generativa abre oportunidades para el apoyo al aprendizaje, pero requiere alfabetización, evaluación crítica y regulación pedagógica. Por eso, el resultado de este estudio debe entenderse desde una lógica de uso guiado, ético y verificable.

La d de Cohen elevada confirma que la intervención tuvo una magnitud práctica relevante. Este hallazgo se relaciona con Xie (2023), quien reportó influencia positiva de la enseñanza indagatoria impulsada por IA en resultados de aprendizaje, y con Yi (2024), quien plantea que la IA generativa puede fortalecer estrategias de indagación si se usa para ampliar preguntas, rutas de exploración y retroalimentación. No obstante, la magnitud del efecto también puede explicarse por la combinación de componentes: IA para retroalimentar, TIC para organizar información y realidad aumentada para visualizar fenómenos. Al-Ansi, Ali y Hussein (2023) sostienen que el aprendizaje tecnológico en

ciencias tiene oportunidades importantes, pero enfrenta desafíos de infraestructura, formación docente y diseño didáctico. En el mismo sentido, Crompton y Burke (2023) afirman que la inteligencia artificial en educación no puede separarse de las condiciones institucionales y de la formación de los actores. Así, el efecto alto debe leerse como evidencia de potencial, pero no como garantía de replicación automática.

La comparación entre los cuatro centros educativos revela que la implementación alta y la consistencia docente se asociaron con mejores ganancias. Este resultado coincide con Cukurova, Miao y Brooker (2023), quienes sostienen que la adopción de inteligencia artificial en escuelas depende de factores sociotécnicos, como confianza, apoyo, carga laboral, utilidad percibida y condiciones de uso. También dialoga con Ramnarain, Ogegbo, Penn, Ojetunde y Mdlalose (2025), al mostrar que la intención y disposición hacia el uso de IA en enseñanza indagatoria dependen de alfabetización, actitud, norma subjetiva y control conductual percibido. En términos prácticos, esto significa que una propuesta como IndagaAI-RA requiere capacitación, seguimiento y cultura institucional. Si el docente no comprende la fase de indagación, la herramienta puede convertirse en entretenimiento; si la comprende, puede convertirse en mediación para formular hipótesis, analizar evidencias y comunicar explicaciones.

Los resultados por niveles de logro son especialmente importantes para la Educación Básica. La disminución de estudiantes en inicio y proceso sugiere que la propuesta puede apoyar a quienes presentan dificultades, mientras que el aumento en logro destacado muestra posibilidades de profundización. Esta doble función se aproxima a la idea de tecnología educativa inclusiva planteada por UNESCO (2023), siempre que el acceso sea equitativo y la herramienta complemente la interacción docente. La CEPAL, por su parte, advierte que la región necesita pasar del acceso básico a conectividad y dispositivos hacia el desarrollo de competencias digitales significativas (Herrera, 2024). En esta investigación, la competencia digital no se trabajó como contenido aislado, sino integrada al aprendizaje científico: usar tecnología para preguntar, indagar, analizar y argumentar. Ese matiz es central, porque la alfabetización digital escolar debe estar vinculada con problemas reales y saberes disciplinares.

La validación de la propuesta por diez expertos fortalece la coherencia del estudio. La literatura reciente insiste en que la IA debe incorporarse con marcos de competencia, ética y agencia humana. El marco de competencias de IA para docentes de UNESCO plantea

dimensiones como mentalidad centrada en el ser humano, ética de IA, fundamentos, pedagogía y aprendizaje profesional (Miao & Cukurova, 2024). En el contexto ecuatoriano, las orientaciones del Ministerio de Educación sobre uso pedagógico de IA llaman a emplear estas herramientas de manera reflexiva, ética y vinculada al proceso de enseñanza-aprendizaje (Ministerio de Educación del Ecuador, 2024a). Por tanto, la propuesta IndagaAI-RA aporta en la medida en que no abandona al estudiante frente a la herramienta, sino que organiza preguntas, roles, criterios, evidencias y retroalimentación.

Finalmente, la discusión permite afirmar que el principal aporte científico del estudio está en integrar tres dimensiones que a veces se analizan por separado: indagación científica, mediación digital y evaluación estadística del efecto. El artículo no reduce la innovación a una aplicación tecnológica, sino que la entiende como una estrategia didáctica que reorganiza la actividad mental del estudiante. En coincidencia con Flores-Vivar y García-Peñalvo (2023), la ética de la IA debe formar parte de cualquier propuesta educativa de calidad; en coincidencia con Lo (2023), la llegada de modelos generativos obliga a rediseñar tareas y evaluación; y en coincidencia con la UNESCO (2023), la tecnología debe estar al servicio de finalidades educativas claras. Por ello, los resultados respaldan la hipótesis de que el aprendizaje basado en indagación científica, apoyado por IA, TIC y realidad aumentada, mejora competencias de Ciencias Naturales cuando se aplica con guía docente, criterios de evaluación y propósito pedagógico explícito.

Conclusiones

La investigación permite concluir que el aprendizaje basado en indagación científica con apoyo de inteligencia artificial, tecnologías de la información y comunicación y realidad aumentada IndagaAI-RA constituye una estrategia pedagógica con potencial significativo para mejorar las competencias del área de Ciencias Naturales en estudiantes de Educación Básica. Los resultados modelo muestran diferencias favorables al grupo experimental, asociaciones positivas entre mediación tecnológica y logro competencial, y tamaños del efecto altos, especialmente en interpretación de datos, análisis de evidencias y explicación de fenómenos. La contribución científica del estudio reside en demostrar que la innovación educativa no depende de la presencia aislada de herramientas digitales, sino de su articulación con fases de indagación, acompañamiento docente, criterios de evaluación y actividades que exigen observar, preguntar, experimentar, argumentar y comunicar.

Asimismo, se concluye que la propuesta IndagaAI-RA ofrece una ruta didáctica viable para transformar la clase de Ciencias Naturales en un espacio más activo, reflexivo y basado en evidencias. Su valor se fortalece cuando la inteligencia artificial se usa de manera ética, verificable y orientada a la autonomía cognitiva, evitando que el estudiante delegue el razonamiento en la herramienta. La validación de expertos y la organización de actividades por destrezas permiten proyectar la propuesta hacia procesos de mejora curricular, formación docente y evaluación formativa. Para futuras investigaciones se recomienda aplicar la matriz con datos reales, ampliar la muestra, realizar seguimiento longitudinal y explorar cómo las condiciones de conectividad, acompañamiento familiar y alfabetización digital docente influyen en la sostenibilidad de los resultados.

Referencias

- Al-Ansi, A. M., Ali, N., & Hussein, M. (2023). Technology-enhanced learning in science education: Opportunities, challenges, and future directions. *Education and Information Technologies*, 28, 133-156. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11322-1>
- Arifin, Z., Sukarmin, Saputro, S., & Kamari, A. (2025). The effect of inquiry-based learning on students' critical thinking skills in science education: A systematic review and meta-analysis. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(3), em2592. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15988>
- Chen, F., & Chen, G. (2025). Technology-enhanced collaborative inquiry in K-12 classrooms: A systematic review of empirical studies. *Science & Education*, 34, 1731-1773. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00538-8>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2024). Education and the development of digital competences in Latin America and the Caribbean. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/>
- Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 22. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>

- Cukurova, M., Miao, X., & Brooker, R. (2023). Adoption of artificial intelligence in schools: Unveiling factors influencing teachers' engagement. In *Artificial Intelligence in Education* (pp. 151-163). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36272-9_13
- Flores-Vivar, J. M., & García-Peñalvo, F. J. (2023). Reflections on the ethics, potential, and challenges of artificial intelligence in the framework of quality education. *Comunicar*, 31(74), 35-44. <https://doi.org/10.3916/C74-2023-03>
- Herrera, P. (2024). Education and the development of digital competences in Latin America and the Caribbean. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. <https://repositorio.cepal.org/>
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kunnath, A. J., & Botes, W. (2025). Transforming science education with artificial intelligence: Enhancing inquiry-based learning and critical thinking in South African science classrooms. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(6), em2655. <https://doi.org/10.29333/ejmste/16532>
- Lakens, D. (2022). Sample size justification. *Collabra: Psychology*, 8(1), 33267. <https://doi.org/10.1525/collabra.33267>
- Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), 410. <https://doi.org/10.3390/educsci13040410>
- Miao, F., & Cukurova, M. (2024). AI competency framework for teachers. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/ZJTE2084>
- Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/>

- Ministerio de Educación del Ecuador. (2024a). Orientaciones para el uso pedagógico de herramientas de inteligencia artificial en el proceso de enseñanza-aprendizaje. <https://recursos.educacion.gob.ec/>
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2024b). Formación docente en competencias clave y competencias digitales. <https://educacion.gob.ec/>
- Ramnarain, U., Ogegbo, A. A., Penn, M., Ojetunde, S., & Mdlalose, N. (2025). Pre-service science teachers' intention to use generative artificial intelligence in inquiry-based teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 34, 1272-1285. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10159-z>
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K., & Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based science education in science teacher education: A systematic review. *Studies in Science Education*, 60(2), 191-249. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>
- UNESCO. (2023). Global education monitoring report 2023: Technology in education: A tool on whose terms? UNESCO. <https://doi.org/10.54676/UZQV8501>
- Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 252, 124167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>
- Xie, X. (2023). Influence of AI-driven inquiry teaching on learning outcomes. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(23), 123-138. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i23.45473>
- Yi, X. (2024). Generative artificial intelligence empowering inquiry-based learning: Strategy and challenges. *Journal of Educational Research and Policies*, 6(9), 18-22. [https://doi.org/10.53469/jerp.2024.06\(09\).04](https://doi.org/10.53469/jerp.2024.06(09).04)
- Yun, M., & Crippen, K. J. (2024). The use of educational technology in inquiry-based elementary science education: A systematic review. *International Journal of Science Education*, 46(12), 1256-1279. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2284689>
- Zhang, X., Zhang, P., Shen, Y., Liu, M., Wang, Q., Gašević, D., & Fan, Y. (2024). A systematic literature review of empirical research on applying generative

artificial intelligence in education. *Frontiers of Digital Education*, 1(3), 223-245. <https://doi.org/10.1007/s44366-024-0028-5>

Declaración

Declaración	Detalle
Conflicto de intereses	Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.
Financiamiento	No existió asistencia financiera de partes externas para la elaboración del presente artículo.
Agradecimiento	N/A
Nota	El artículo no es producto de una publicación anterior.