

Inteligencia artificial y aprendizaje significativo de las Ciencias Naturales: estrategias pedagógicas innovadoras desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado.

Artificial Intelligence and Meaningful Learning in Natural Sciences: Innovative Pedagogical Strategies from Early Childhood Education to Unified General Baccalaureate.

PALABRA VERDADERA

Recepción: 10/09/2026

Aceptación: 25/09/2026

Publicación: 16/10/2026

AUTOR/ES

- Evert Francisco Salvador García
- MINEDEC
- evert.salvador@docentes.educacion.edu.ec
- <https://orcid.org/0000-0002-2036-1845>
- Ecuador

- Johanna Leticia Macas Quezada
- MINEDEC
- johanna_mc@outlook.es
- <https://orcid.org/0009-0005-7903-7213>
- Ecuador

- Jenny Rocío Arias Blacio
- MINEDEC
- jennyr.arias@educacion.gob.ec
- <https://orcid.org/0009-0005-3113-2254>
- Ecuador

- Cristhian Alvaro Quinteros Posligua
- MINEDEC
- cristhian.quinteros@educacion.gob.ec
- <https://orcid.org/0009-0003-5807-1602>
- Ecuador

- Elsa Janeth Magno Arboleda
- MINEDEC
- elsa.magno@docentes.educacion.edu.ec
- <https://orcid.org/0009-0000-9276-7767>
- Ecuador

- Anderson Omar Verdezoto Zuñiga
- MINEDEC
- anderson.verdezoto@educacion.gob.ec
- <https://orcid.org/0009-0002-8852-0547>
- Ecuador

CITACIÓN:

Salvador García, E. F., Macas Quezada, J. L., Arias Blacio, J. R., Quinteros Posligua, C. A., Magno Arboleda, E. J., & Verdezoto Zuñiga, A. O. (2026). Inteligencia artificial y aprendizaje significativo de las ciencias naturales: estrategias pedagógicas innovadoras desde educación inicial hasta bachillerato general unificado. Revista Científica Tsafiki, 3(2), 186–219.

RESUMEN

La incorporación de la inteligencia artificial en los procesos educativos representa una oportunidad para transformar las prácticas pedagógicas y fortalecer el aprendizaje significativo de las Ciencias Naturales en los diferentes niveles de escolaridad. Sin embargo, su integración plantea desafíos relacionados con la formación docente, la pertinencia didáctica, la equidad tecnológica y la adaptación de los recursos digitales a las características cognitivas y evolutivas del estudiantado. La presente investigación tiene como objetivo analizar la evidencia científica sobre la aplicación de la inteligencia artificial como estrategia de innovación pedagógica en la enseñanza de las Ciencias Naturales, desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado, considerando las particularidades del sistema educativo ecuatoriano. Metodológicamente, se propone una revisión sistemática de la literatura, orientada por las directrices PRISMA 2020, mediante la identificación, selección y evaluación crítica de publicaciones científicas indexadas en Scopus, Web of Science y SciELO, correspondientes al periodo 2020-2026. El análisis contempla categorías relacionadas con el aprendizaje personalizado, la gamificación inteligente, la retroalimentación formativa, las simulaciones interactivas y el desarrollo del pensamiento científico. Asimismo, examina las condiciones pedagógicas, tecnológicas y éticas que pueden favorecer o limitar su implementación. Se espera que la sistematización de la evidencia permita identificar estrategias pertinentes para cada nivel educativo y reconocer vacíos de investigación. El estudio busca aportar fundamentos científicos que orienten la integración responsable de la inteligencia artificial en las Ciencias Naturales, priorizando la mediación docente, la inclusión educativa y la construcción activa del conocimiento.

PALABRAS CLAVE: inteligencia artificial; aprendizaje significativo; Ciencias Naturales; innovación pedagógica; educación ecuatoriana.

ABSTRACT

The integration of artificial intelligence into educational processes represents an opportunity to transform pedagogical practices and strengthen meaningful learning in Natural Sciences across different educational levels. However, its implementation poses challenges related to teacher training, instructional relevance, technological equity, and the adaptation of digital resources to students' cognitive and developmental characteristics. This study aims to analyze scientific evidence concerning the application of artificial intelligence as an innovative pedagogical strategy in Natural Sciences education, from Early Childhood Education to the Unified General Baccalaureate, considering the particularities of the Ecuadorian educational system. Methodologically, a systematic literature review is proposed, guided by the PRISMA 2020 guidelines, through the identification, selection, and critical appraisal of scientific publications indexed in

Scopus, Web of Science, and SciELO between 2020 and 2026. The analysis addresses categories related to personalized learning, intelligent gamification, formative feedback, interactive simulations, and the development of scientific thinking. Furthermore, it examines the pedagogical, technological, and ethical conditions that may facilitate or constrain implementation. The synthesis of evidence is expected to identify appropriate strategies for each educational level and reveal existing research gaps. This study seeks to provide a scientific foundation for the responsible integration of artificial intelligence into Natural Sciences education, emphasizing teacher mediation, educational inclusion, and the active construction of knowledge.

KEYWORDS: artificial intelligence; meaningful learning; Natural Sciences; pedagogical innovation; Ecuadorian education.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital de los sistemas educativos ha generado nuevas posibilidades para la construcción del conocimiento, la diversificación de las estrategias didácticas y la personalización de los procesos de enseñanza y aprendizaje. En este escenario, la inteligencia artificial (IA) constituye una tecnología emergente con potencial para modificar las formas de interacción entre docentes, estudiantes y contenidos curriculares, mediante sistemas capaces de proporcionar retroalimentación, adaptar actividades educativas y facilitar la representación de fenómenos complejos. Su incorporación al ámbito escolar plantea oportunidades de innovación pedagógica, pero también exige una reflexión crítica sobre sus fundamentos didácticos, implicaciones éticas y condiciones de implementación. En este sentido, Zawacki-Richter et al. (2019) identificaron diversas aplicaciones de la inteligencia artificial en educación, especialmente relacionadas con la evaluación automatizada, los sistemas tutoriales inteligentes y el aprendizaje adaptativo, mientras que Chen et al. (2020) destacaron su potencial para apoyar la gestión del conocimiento y la construcción de experiencias educativas diferenciadas.

La enseñanza de las Ciencias Naturales desempeña una función esencial en la formación integral del estudiantado, debido a que favorece la comprensión de los fenómenos biológicos, físicos, químicos y ambientales que intervienen en la vida cotidiana. Su aprendizaje no se limita a la adquisición de conceptos científicos, sino que comprende el desarrollo de capacidades de observación, formulación de preguntas, elaboración de explicaciones, interpretación de evidencias y resolución de problemas vinculados con el entorno. Desde esta perspectiva, la educación científica requiere metodologías que permitan relacionar los conocimientos escolares con las experiencias previas de los estudiantes y promover una participación activa en la construcción de significados. National Research Council (2012) sostiene que el aprendizaje de las ciencias debe integrar prácticas de investigación, conceptos transversales y conocimientos

disciplinares, de manera que los estudiantes comprendan tanto los principios científicos como los procedimientos utilizados para producir y validar explicaciones sobre el mundo natural.

La necesidad de fortalecer estas capacidades adquiere particular relevancia cuando se consideran las diferencias cognitivas, sociales y evolutivas existentes entre los estudiantes de Educación Inicial, Educación General Básica y Bachillerato General Unificado. Durante los primeros años de escolaridad, la exploración sensorial, la observación del entorno, el juego y la experimentación guiada constituyen experiencias fundamentales para desarrollar la curiosidad y establecer las primeras relaciones entre objetos, seres vivos y fenómenos naturales. Conforme avanza la trayectoria educativa, estas experiencias pueden articularse con procedimientos de indagación progresivamente más estructurados, representaciones científicas y actividades de análisis que requieren mayores niveles de abstracción. Eshach y Fried (2005) argumentan que la educación científica temprana puede favorecer el desarrollo de habilidades de pensamiento y actitudes positivas hacia la ciencia cuando las experiencias de aprendizaje se organizan de acuerdo con las características del desarrollo infantil. Esta perspectiva permite comprender que la integración de tecnologías inteligentes debe responder a las particularidades de cada etapa educativa y no fundamentarse en la aplicación uniforme de herramientas digitales.

Desde el punto de vista pedagógico, el aprendizaje significativo proporciona un marco conceptual pertinente para analizar la incorporación de la inteligencia artificial en las Ciencias Naturales. Ausubel (1968) estableció que la adquisición de conocimientos adquiere mayor profundidad cuando la nueva información se relaciona de manera sustantiva con las estructuras cognitivas previamente construidas por el estudiante. Posteriormente, Novak (2002) profundizó en la importancia de la organización conceptual y de las relaciones entre conocimientos previos y nuevos aprendizajes para comprender los procesos de construcción de significados. En consecuencia, la utilización de recursos tecnológicos debe orientarse hacia la comprensión conceptual, la transferencia del conocimiento y la resolución de situaciones contextualizadas, evitando que la interacción con plataformas digitales se reduzca a la reproducción mecánica de información o a la ejecución de actividades desvinculadas de los objetivos curriculares.

En este contexto, la inteligencia artificial puede analizarse como un recurso de mediación pedagógica que amplía las posibilidades de representación, interacción y retroalimentación durante el aprendizaje científico. Los sistemas tutoriales inteligentes, las plataformas adaptativas, los asistentes conversacionales y determinadas aplicaciones de inteligencia artificial generativa ofrecen alternativas para organizar secuencias didácticas, formular preguntas orientadoras y proporcionar explicaciones ajustadas a diferentes

necesidades de aprendizaje. No obstante, la existencia de estas funcionalidades no constituye, por sí misma, evidencia de una mejora del rendimiento académico. Su pertinencia depende de la calidad de las actividades propuestas, de la supervisión docente y de la correspondencia entre las herramientas empleadas y los aprendizajes esperados. Kasneci et al. (2023) señalan que los modelos de lenguaje de gran escala presentan oportunidades para apoyar la enseñanza y el aprendizaje, aunque advierten sobre limitaciones relacionadas con la exactitud de las respuestas, los sesgos, la privacidad y la necesidad de desarrollar capacidades críticas para evaluar la información generada.

La incorporación de la inteligencia artificial en la enseñanza de las Ciencias Naturales también debe examinarse desde las posibilidades que ofrecen las representaciones visuales, las simulaciones y los entornos interactivos para comprender procesos difíciles de observar directamente. Fenómenos como la organización celular, los cambios de estado de la materia, las transformaciones energéticas, las interacciones entre organismos y los procesos químicos pueden requerir representaciones complementarias a la observación directa. En este sentido, de Jong et al. (2013) analizaron la relación entre los laboratorios físicos y virtuales en la educación científica, destacando su complementariedad para promover experiencias de aprendizaje mediante la experimentación y la construcción de explicaciones. Sin embargo, resulta indispensable diferenciar las simulaciones digitales convencionales de aquellas que incorporan efectivamente sistemas de inteligencia artificial, puesto que ambas tecnologías responden a principios de funcionamiento distintos y no deben considerarse equivalentes desde una perspectiva investigativa.

Desde una perspectiva complementaria, la gamificación educativa representa una estrategia susceptible de articularse con determinados sistemas de inteligencia artificial para promover experiencias de aprendizaje más participativas y adaptadas a los ritmos individuales. El documento que orientó la reconceptualización temática de esta investigación examina la utilización de mecánicas de juego, actividades interactivas y retroalimentación en el aprendizaje matemático, identificando tanto posibilidades pedagógicas como restricciones relacionadas con la infraestructura tecnológica y la preparación docente. Estos elementos permiten formular nuevas preguntas sobre la pertinencia de combinar gamificación e inteligencia artificial en la enseñanza de las Ciencias Naturales, sin asumir que los resultados obtenidos en matemáticas puedan transferirse automáticamente a otras disciplinas o niveles educativos. La diferenciación resulta particularmente importante porque una actividad gamificada puede desarrollarse sin inteligencia artificial, mientras que un sistema inteligente puede utilizarse sin incorporar

mecánicas de juego.

La articulación entre inteligencia artificial, aprendizaje significativo y educación científica requiere considerar que los estudiantes no construyen conocimientos únicamente mediante la recepción de explicaciones, sino a través de procesos de interacción, contraste de ideas y reorganización de sus representaciones conceptuales. En este sentido, la personalización del aprendizaje adquiere relevancia cuando permite reconocer conocimientos previos, identificar dificultades específicas y ofrecer apoyos pedagógicos diferenciados. Chen et al. (2020), mediante una revisión sistemática de investigaciones influyentes sobre inteligencia artificial educativa, identificaron vacíos relacionados con sus aplicaciones y fundamentos teóricos, lo que evidencia la necesidad de examinar no solamente las funcionalidades tecnológicas, sino también los modelos pedagógicos que sustentan su utilización. Por consiguiente, el análisis de la IA en Ciencias Naturales debe considerar si las actividades mediadas tecnológicamente favorecen procesos de comprensión, indagación y transferencia conceptual, o si se limitan a facilitar respuestas inmediatas sin promover una elaboración cognitiva suficiente.

En el ámbito internacional, la investigación sobre inteligencia artificial educativa ha experimentado una diversificación de enfoques y aplicaciones. Zawacki-Richter et al. (2019), en una revisión sistemática centrada en educación superior, identificaron cuatro áreas principales de aplicación: predicción y elaboración de perfiles, evaluación, sistemas adaptativos y personalización, y tutoría inteligente. Aunque estos hallazgos permiten reconocer tendencias generales del desarrollo tecnológico, su procedencia de contextos universitarios limita su extrapolación directa a la educación escolar. Esta consideración resulta especialmente relevante para la presente investigación, cuyo interés comprende estudiantes con diferentes niveles de autonomía, alfabetización digital y desarrollo cognitivo. En consecuencia, la revisión propuesta requiere distinguir las aplicaciones documentadas en educación superior de aquellas investigadas específicamente en Educación Inicial, Educación General Básica y Bachillerato General Unificado.

La aparición de sistemas de inteligencia artificial generativa ha ampliado las posibilidades de producción de recursos educativos, elaboración de preguntas, organización de secuencias de aprendizaje y construcción de explicaciones mediante lenguaje natural. Kasneci et al. (2023) analizaron las oportunidades y desafíos de los modelos de lenguaje de gran escala en educación, destacando sus posibles contribuciones a la personalización, la creación de materiales y la interacción educativa, junto con riesgos relacionados con la información

incorrecta, los sesgos y la utilización poco crítica de las respuestas automatizadas. Estas limitaciones adquieren especial importancia en las Ciencias Naturales, donde la precisión conceptual, la comprobación de evidencias y la diferenciación entre explicaciones científicas y afirmaciones no verificadas constituyen componentes esenciales del aprendizaje. Por ello, el uso de asistentes inteligentes debe acompañarse de procedimientos de verificación, contrastación con fuentes académicas y actividades que permitan al estudiante justificar sus razonamientos, en lugar de aceptar automáticamente los contenidos generados por una plataforma.

La incorporación de estas tecnologías también exige considerar la función insustituible del docente como responsable de la planificación, mediación, evaluación y contextualización de las experiencias educativas. Aunque los sistemas inteligentes pueden apoyar determinadas tareas de enseñanza, su utilización no elimina la necesidad de establecer relaciones pedagógicas, interpretar las necesidades del alumnado y tomar decisiones fundamentadas en el conocimiento del contexto escolar. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, mediante su guía sobre inteligencia artificial generativa en educación e investigación, plantea la necesidad de adoptar enfoques centrados en el ser humano, garantizar la protección de los datos personales y establecer condiciones de utilización apropiadas para la edad de los estudiantes (Miao & Holmes, 2023). Estas orientaciones son especialmente pertinentes cuando la investigación comprende Educación Inicial y los primeros subniveles de Educación General Básica, donde la interacción con herramientas inteligentes debe estar cuidadosamente mediada por adultos responsables y responder a finalidades pedagógicas claramente delimitadas.

En América Latina, la incorporación de inteligencia artificial a la educación debe analizarse considerando las condiciones institucionales y las diferencias en el acceso a recursos tecnológicos, conectividad y formación profesional. La disponibilidad de plataformas inteligentes no garantiza que todas las instituciones educativas cuenten con las condiciones necesarias para utilizarlas de manera sostenida, ni que el profesorado disponga de las competencias requeridas para integrarlas en sus planificaciones. Desde esta perspectiva, las oportunidades de innovación deben examinarse junto con las barreras relacionadas con la infraestructura, la alfabetización digital, la pertinencia cultural y la protección de la información. La UNESCO (Miao & Holmes, 2023) advierte que la expansión acelerada de la inteligencia artificial generativa plantea desafíos regulatorios y educativos que requieren políticas institucionales, desarrollo de capacidades humanas y mecanismos de evaluación ética.

En consecuencia, el estudio de estas tecnologías en los sistemas educativos latinoamericanos debe evitar enfoques exclusivamente instrumentales y considerar las condiciones que determinan su accesibilidad, pertinencia y sostenibilidad.

En el contexto ecuatoriano, la enseñanza de las Ciencias Naturales se encuentra articulada con objetivos curriculares orientados a la comprensión del entorno, la observación de fenómenos, la indagación y el desarrollo progresivo de capacidades científicas. El currículo del Ministerio de Educación del Ecuador establece una progresión de objetivos para los subniveles de Educación General Básica, que comprende desde experiencias iniciales de observación y reconocimiento de relaciones entre los seres vivos y su entorno hasta procesos de investigación sobre fenómenos naturales de mayor complejidad. Esta organización curricular constituye un referente para analizar las posibilidades de integración de la inteligencia artificial mediante estrategias diferenciadas según las características del estudiantado. En Educación Inicial y los primeros años de escolaridad, su incorporación puede estudiarse como apoyo a la elaboración de materiales visuales y experiencias exploratorias mediadas por el docente; en los niveles intermedios, como recurso para la representación de procesos naturales y la retroalimentación; y en los niveles superiores, como herramienta potencial para apoyar la formulación de hipótesis, la interpretación de datos y la construcción de explicaciones científicas. Estas posibilidades requieren validación empírica y no deben confundirse con prácticas cuya eficacia ya se encuentre demostrada en todos los niveles educativos.

La pertinencia de investigar estas aplicaciones también se relaciona con la necesidad de fortalecer las competencias digitales del profesorado y su capacidad para seleccionar recursos tecnológicos conforme a criterios pedagógicos. La integración de inteligencia artificial exige que los docentes comprendan sus posibilidades y limitaciones, identifiquen errores en las respuestas automatizadas y diseñen actividades que preserven la autonomía intelectual de los estudiantes. En la enseñanza de las Ciencias Naturales, esta responsabilidad adquiere una dimensión adicional, debido a que los contenidos deben conservar su rigurosidad científica y adecuarse a las destrezas curriculares de cada nivel. De esta manera, la innovación educativa no debería evaluarse únicamente por la incorporación de herramientas digitales, sino por su contribución verificable a la comprensión conceptual, la participación activa, la indagación y el desarrollo del pensamiento científico.

A pesar de los avances registrados en la investigación sobre inteligencia artificial educativa, persiste la necesidad de integrar críticamente la evidencia correspondiente a sus aplicaciones en la enseñanza de las Ciencias Naturales a lo largo de diferentes etapas de

escolaridad. Las revisiones de Zawacki-Richter et al. (2019) y Chen et al. (2020) ofrecen aportes relevantes para comprender la evolución de la inteligencia artificial en educación; sin embargo, sus respectivos alcances no permiten establecer conclusiones específicas sobre la continuidad pedagógica de estas tecnologías desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado. Asimismo, Kasneci et al. (2023) identifican posibilidades y riesgos asociados con los modelos de lenguaje, pero su análisis no constituye una evaluación sistemática de resultados de aprendizaje científico diferenciados por niveles educativos. A partir de estos antecedentes se identifica una brecha de conocimiento que requiere examinar de manera conjunta las aplicaciones didácticas de la inteligencia artificial, su relación con el aprendizaje significativo, las condiciones de implementación y las diferencias entre los contextos escolares. La magnitud de esta brecha deberá establecerse mediante la búsqueda y evaluación sistemática de la literatura, evitando afirmar anticipadamente que existe una ausencia absoluta de investigaciones sobre el tema.

La justificación teórica de la presente investigación radica en la necesidad de establecer conexiones entre los fundamentos del aprendizaje significativo, la educación científica y las aplicaciones contemporáneas de inteligencia artificial, con el propósito de comprender bajo qué condiciones estas tecnologías pueden contribuir a experiencias educativas cognitivamente relevantes. Desde una perspectiva metodológica, la revisión sistemática permitirá identificar y organizar estudios científicos mediante criterios explícitos de búsqueda, selección y evaluación, diferenciando las investigaciones empíricas de las propuestas conceptuales y evitando atribuir efectos educativos a herramientas que no hayan sido sometidas a evaluación. En el ámbito práctico, la investigación busca proporcionar fundamentos para orientar la selección de estrategias pedagógicas adaptadas a los distintos niveles de escolaridad, considerando la formación docente, la accesibilidad tecnológica y la correspondencia con los objetivos curriculares. Su relevancia social se relaciona con la necesidad de promover procesos de innovación que no profundicen las desigualdades educativas y que reconozcan la protección de la infancia, la inclusión y el acceso equitativo al conocimiento científico como condiciones esenciales para una transformación educativa responsable.

En este escenario, resulta pertinente desarrollar una revisión sistemática que examine la evidencia disponible sobre la inteligencia artificial y el aprendizaje significativo de las Ciencias Naturales, considerando las diferencias entre Educación Inicial, Educación General Básica y Bachillerato General Unificado. El análisis permitirá reconocer las aplicaciones educativas investigadas, las estrategias didácticas utilizadas, los resultados de aprendizaje documentados

y las condiciones que favorecen o restringen su implementación. Asimismo, contribuirá a distinguir las posibilidades pedagógicas de los sistemas inteligentes frente a otras tecnologías educativas y a establecer criterios para su utilización responsable en instituciones escolares. Esta aproximación busca superar una visión centrada exclusivamente en la innovación tecnológica y avanzar hacia una comprensión pedagógica fundamentada en la evidencia, en la cual la inteligencia artificial se conciba como un recurso complementario para enriquecer la enseñanza, fortalecer la autonomía progresiva del estudiante y favorecer la construcción de conocimientos científicos significativos.

En correspondencia con lo expuesto, el objetivo general de la presente investigación es analizar sistemáticamente la evidencia científica sobre la integración de la inteligencia artificial como estrategia de innovación pedagógica para fortalecer el aprendizaje significativo de las Ciencias Naturales, desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado, identificando sus principales aplicaciones didácticas, contribuciones al desarrollo del pensamiento científico, condiciones de implementación y desafíos pedagógicos, tecnológicos y éticos, con especial atención a su pertinencia en el contexto educativo ecuatoriano. De manera complementaria, el estudio se orienta a caracterizar las tecnologías inteligentes utilizadas en la educación científica, examinar los resultados de aprendizaje reportados según los niveles educativos, identificar las estrategias de mediación docente y reconocer los vacíos investigativos que puedan orientar futuras intervenciones y políticas de innovación educativa.

MÉTODOS MATERIALES

La presente investigación se plantea desde un enfoque cualitativo, mediante una revisión sistemática de la literatura científica con alcance descriptivo, analítico e interpretativo, orientada a examinar las aplicaciones pedagógicas de la inteligencia artificial en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales, desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado. Este diseño metodológico se fundamenta en la necesidad de identificar, organizar, evaluar y sintetizar críticamente la producción científica relacionada con el uso de tecnologías inteligentes en los procesos educativos, considerando sus contribuciones al aprendizaje significativo, al desarrollo del pensamiento científico y a la transformación de las prácticas docentes. La revisión sistemática permitirá integrar evidencias procedentes de diferentes contextos educativos, reconocer tendencias investigativas y establecer las condiciones pedagógicas, tecnológicas y éticas que intervienen en la implementación de estas herramientas.

El estudio se estructurará de acuerdo con las recomendaciones de la declaración PRISMA 2020, propuesta por Page et al. (2021), que establece criterios para comunicar de

manera transparente los procedimientos y resultados de las revisiones sistemáticas. Su aplicación permitirá documentar las etapas de identificación, cribado, evaluación de elegibilidad e inclusión de investigaciones científicas, así como registrar las razones de exclusión y garantizar la trazabilidad de las decisiones metodológicas. Se utilizará esta declaración como guía para el reporte de la revisión, complementándola con criterios previamente definidos de búsqueda bibliográfica, selección de documentos, extracción de información y evaluación de calidad metodológica. De esta manera, se procurará que el procedimiento sea explícito, verificable y susceptible de reproducción por otros investigadores.

La pregunta central de investigación se formulará en los siguientes términos: ¿Qué evidencia científica existe sobre la integración de la inteligencia artificial en la enseñanza de las Ciencias Naturales, desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado, y cuáles son sus contribuciones documentadas al aprendizaje significativo, al pensamiento científico y a la innovación pedagógica? Esta interrogante orientará la delimitación temática y la selección de los estudios, tomando como población de interés a estudiantes y docentes de los diferentes niveles de escolaridad, como fenómeno principal la incorporación educativa de sistemas de inteligencia artificial y como resultados de interés la comprensión conceptual, la participación activa, la motivación académica, la indagación científica, la retroalimentación formativa y el desarrollo de competencias científicas. Asimismo, se considerarán los factores institucionales y contextuales que puedan condicionar la implementación de estas tecnologías.

La búsqueda bibliográfica se realizará en las bases de datos Scopus, Web of Science Core Collection y SciELO, seleccionadas por su cobertura de publicaciones científicas relacionadas con educación, innovación tecnológica y ciencias sociales. Se considerarán investigaciones publicadas desde enero de 2020 hasta octubre de 2026, con la finalidad de examinar la producción científica reciente sobre inteligencia artificial educativa y sus aplicaciones en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El período seleccionado permitirá incorporar investigaciones anteriores a la expansión de los modelos de inteligencia artificial generativa y estudios posteriores relacionados con asistentes conversacionales, sistemas tutoriales inteligentes y recursos de aprendizaje adaptativo. La fecha exacta de ejecución de las búsquedas, las plataformas consultadas, las ecuaciones utilizadas y el número de registros recuperados se documentarán en una matriz de trazabilidad bibliográfica.

Para localizar los documentos se utilizarán descriptores en español, inglés y portugués, combinados mediante operadores booleanos AND y OR. Entre los términos principales se incluirán inteligencia artificial, artificial intelligence, inteligencia artificial generativa,

generative artificial intelligence, aprendizaje automático, machine learning, sistemas tutoriales inteligentes, intelligent tutoring systems, aprendizaje adaptativo, adaptive learning, Ciencias Naturales, science education, natural sciences, enseñanza de la biología, biology education, enseñanza de la física, physics education, enseñanza de la química y chemistry education. Estos términos se relacionarán con expresiones correspondientes a Educación Inicial, educación primaria, Educación General Básica, educación secundaria y bachillerato, incluyendo sus equivalentes internacionales, con el propósito de recuperar investigaciones desarrolladas en sistemas educativos con denominaciones diferentes a las utilizadas en Ecuador.

Como ecuación general de búsqueda se propone la combinación de los términos ("artificial intelligence" OR "generative AI" OR "machine learning" OR "intelligent tutoring system*" OR "adaptive learning") AND ("science education" OR "natural sciences" OR "biology education" OR "physics education" OR "chemistry education") AND ("early childhood education" OR "primary education" OR "elementary school" OR "secondary education" OR "high school" OR "K-12"). Esta estructura se adaptará a los campos de búsqueda y operadores admitidos por cada base de datos. En Scopus se priorizará la búsqueda en títulos, resúmenes y palabras clave mediante el campo TITLE-ABS-KEY; en Web of Science se utilizará la búsqueda temática mediante TS; mientras que en SciELO se aplicarán combinaciones equivalentes de términos en español, inglés y portugués. Se efectuarán búsquedas complementarias con términos específicos de cada disciplina científica para reducir el riesgo de excluir investigaciones relevantes que no utilicen la expresión general Ciencias Naturales.

Los criterios de inclusión comprenderán artículos científicos originales, estudios empíricos cuantitativos, cualitativos o mixtos, investigaciones cuasiexperimentales, estudios de intervención educativa y revisiones sistemáticas publicadas en revistas académicas cuya indexación pueda verificarse en al menos una de las bases de datos seleccionadas. Se considerarán publicaciones redactadas en español, inglés o portugués, correspondientes al período establecido y relacionadas directamente con aplicaciones de inteligencia artificial en la enseñanza o el aprendizaje de contenidos científicos en los niveles de Educación Inicial, primaria, secundaria o bachillerato, incluyendo contextos internacionales equivalentes. Los documentos deberán presentar información suficiente para identificar sus objetivos, metodología, población de estudio, tecnología utilizada y principales aportes o resultados. Cuando se incluyan revisiones sistemáticas, estas se analizarán como evidencia secundaria y se diferenciarán de los estudios primarios para evitar la duplicación de resultados.

Se excluirán investigaciones centradas exclusivamente en educación superior, formación universitaria especializada o contextos profesionales que no permitan establecer una relación pertinente con la educación escolar. También se descartarán publicaciones cuyo objeto principal corresponda a disciplinas ajenas a las Ciencias Naturales, documentos que mencionen la inteligencia artificial sin examinar una aplicación educativa concreta, estudios dedicados únicamente a herramientas digitales convencionales sin componentes identificables de inteligencia artificial, registros duplicados y publicaciones que no permitan recuperar información metodológica suficiente para su evaluación. Las investigaciones sobre gamificación se incorporarán únicamente cuando incluyan una integración explícita de inteligencia artificial o aporten evidencia directamente pertinente para comprender su articulación pedagógica. Esta delimitación permitirá diferenciar las tecnologías inteligentes de otros recursos educativos digitales y evitar atribuciones conceptuales imprecisas.

La selección de los estudios comprenderá un proceso secuencial de identificación, depuración, cribado y evaluación de elegibilidad. Inicialmente, los registros recuperados de las bases de datos serán exportados a un gestor bibliográfico o una matriz documental para organizar sus datos y detectar duplicaciones. Posteriormente, se examinarán los títulos y resúmenes con el propósito de identificar investigaciones potencialmente pertinentes. Los documentos que superen esta primera revisión serán evaluados mediante lectura completa, verificando su correspondencia con la pregunta de investigación y los criterios de selección. Durante esta etapa se registrarán las causas específicas de exclusión, como población no pertinente, ausencia de inteligencia artificial, contenidos científicos no relacionados con el objetivo o información metodológica insuficiente. Los resultados del procedimiento se presentarán mediante un diagrama de flujo PRISMA 2020, incorporando exclusivamente las cantidades efectivamente obtenidas durante la búsqueda y selección bibliográfica.

La unidad de análisis estará constituida por los artículos científicos que cumplan los criterios de elegibilidad. A diferencia de una investigación de campo, en la cual la población y la muestra corresponden a participantes individuales, en esta revisión el universo documental estará integrado por los registros potencialmente relevantes recuperados en las fuentes seleccionadas, mientras que el corpus definitivo estará conformado por los estudios incluidos después del proceso de evaluación. No se establecerá anticipadamente una cantidad fija de artículos, puesto que el tamaño final dependerá de los resultados de las búsquedas, la pertinencia temática y el cumplimiento de los requisitos metodológicos. Esta decisión permitirá conservar la transparencia del proceso y evitar que la selección responda a una cifra previamente

determinada.

Para la extracción y sistematización de la información se elaborará una matriz analítica que contendrá la identificación bibliográfica de cada estudio, autoría, año de publicación, país, revista científica, base de indexación, objetivo de investigación, diseño metodológico, características de la población, nivel educativo, área de las Ciencias Naturales, tecnología de inteligencia artificial utilizada, estrategia pedagógica, instrumentos de evaluación, resultados reportados y limitaciones reconocidas por los autores. La matriz incorporará además información sobre las condiciones de conectividad, formación docente, accesibilidad, inclusión y protección de datos cuando estas dimensiones se encuentren documentadas. La organización de los estudios por nivel educativo permitirá examinar diferencias entre Educación Inicial, Educación General Básica y Bachillerato General Unificado, considerando las equivalencias internacionales y evitando comparaciones directas entre poblaciones con características evolutivas y curriculares distintas.

La evaluación de la calidad metodológica se realizará considerando el diseño de cada investigación. Para los estudios cuantitativos, cualitativos y mixtos se valorará la pertinencia de las preguntas de investigación, la adecuación del diseño, la selección de participantes, la calidad de los instrumentos, la consistencia de los procedimientos analíticos y la correspondencia entre los resultados y las conclusiones. Se utilizarán herramientas de valoración crítica apropiadas para cada tipo de estudio, tales como los instrumentos del Joanna Briggs Institute o el Mixed Methods Appraisal Tool, cuando correspondan a las características metodológicas de los artículos seleccionados. En los estudios de intervención se examinarán especialmente la existencia de grupos de comparación, la medición previa y posterior, la duración de la intervención y el control de posibles factores de confusión. La valoración permitirá distinguir la solidez de las evidencias disponibles y evitar que resultados descriptivos o percepciones favorables sean interpretados como demostraciones de eficacia causal.

El análisis de la información se desarrollará mediante una síntesis temática y narrativa, orientada a identificar convergencias, divergencias, patrones de investigación y vacíos de conocimiento. Inicialmente, se efectuará una lectura analítica de los estudios incluidos para reconocer sus principales aportes conceptuales y empíricos. Posteriormente, la información será organizada mediante códigos relacionados con las aplicaciones de inteligencia artificial, las estrategias didácticas utilizadas, los resultados de aprendizaje evaluados y las condiciones de implementación. Los códigos serán agrupados en categorías analíticas que permitan establecer relaciones entre la tecnología, la mediación docente, las características del estudiantado y los

resultados educativos documentados. Este procedimiento tomará como referencia los fundamentos del análisis temático desarrollados por Braun y Clarke (2006), adaptados a la naturaleza documental de la revisión.

La síntesis contemplará cinco dimensiones iniciales de análisis: la integración de inteligencia artificial en experiencias de exploración y descubrimiento del entorno natural; la personalización del aprendizaje y la retroalimentación inteligente; la utilización de sistemas inteligentes en actividades de indagación, simulación y experimentación científica; el desarrollo del pensamiento científico y la comprensión conceptual; y los desafíos pedagógicos, tecnológicos y éticos asociados con su implementación. Estas dimensiones funcionarán como categorías orientadoras y podrán ajustarse de acuerdo con la evidencia efectivamente recuperada. Asimismo, se prestará atención a las diferencias entre tecnologías de inteligencia artificial generativa, sistemas adaptativos, tutores inteligentes y aplicaciones basadas en aprendizaje automático, considerando que sus funcionalidades, condiciones de uso y posibilidades educativas no son necesariamente equivalentes.

Los resultados de los estudios se examinarán atendiendo a la naturaleza de sus indicadores y a la calidad de los procedimientos de medición. Cuando las investigaciones presenten datos cuantitativos, se recuperarán las medidas reportadas sobre comprensión conceptual, rendimiento académico, motivación, participación, pensamiento científico u otras variables pertinentes, conservando sus unidades de medida, características de la muestra y condiciones de evaluación. No se calcularán porcentajes globales de mejora ni se atribuirán efectos generales a la inteligencia artificial a partir de estudios metodológicamente heterogéneos. La viabilidad de realizar un metaanálisis se valorará únicamente después de examinar la comparabilidad de las poblaciones, intervenciones, resultados y medidas estadísticas disponibles. Si la evidencia no reúne las condiciones necesarias para una combinación cuantitativa válida, se desarrollará una síntesis narrativa estructurada que permita comparar los hallazgos sin introducir estimaciones artificiales.

La interpretación de la evidencia incorporará una perspectiva contextualizada en el sistema educativo ecuatoriano, considerando la organización de Educación Inicial, Educación General Básica y Bachillerato General Unificado, así como la progresión curricular de los aprendizajes científicos. Para establecer relaciones con el contexto nacional se examinarán las orientaciones curriculares oficiales y las condiciones educativas pertinentes, diferenciando los hallazgos procedentes de investigaciones desarrolladas en Ecuador de aquellos obtenidos en otros países. Esta distinción permitirá valorar la transferibilidad de las estrategias identificadas

sin asumir que una experiencia exitosa en un determinado sistema educativo pueda reproducirse automáticamente en instituciones con condiciones diferentes de infraestructura, conectividad, formación docente o disponibilidad de recursos.

Finalmente, la investigación observará los principios de integridad académica, transparencia metodológica y responsabilidad en el tratamiento de la información científica. Al tratarse de una revisión documental de publicaciones disponibles, no se contempla la participación directa de estudiantes ni la recopilación de datos personales. Sin embargo, el análisis incorporará consideraciones éticas relacionadas con la utilización de inteligencia artificial por menores de edad, la protección de la privacidad, la prevención de sesgos algorítmicos, la supervisión humana y la equidad en el acceso a recursos tecnológicos. Se mantendrá la correspondencia entre las afirmaciones del manuscrito y las fuentes que las sustentan, respetando los criterios de citación y referencia establecidos por la séptima edición de las normas APA. La documentación de los procedimientos de búsqueda, selección, evaluación y síntesis permitirá establecer una base metodológica rigurosa para interpretar los resultados y formular conclusiones sustentadas exclusivamente en la evidencia científica recuperada.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Caracterización de la evidencia científica sobre inteligencia artificial y educación en Ciencias Naturales

La revisión exploratoria de publicaciones científicas permitió identificar investigaciones directamente relacionadas con el uso de inteligencia artificial en la enseñanza de las ciencias, así como revisiones sobre sistemas tutoriales inteligentes, alfabetización en inteligencia artificial y prácticas científicas escolares. La evidencia localizada muestra que el campo comprende tecnologías y propósitos educativos diversos, entre ellos la personalización del aprendizaje, el acompañamiento de actividades de indagación, la evaluación automatizada y el desarrollo de competencias para comprender y utilizar sistemas inteligentes.

Almasri (2024), mediante una revisión sistemática de investigaciones empíricas publicadas entre 2014 y 2023, examinó 74 estudios sobre inteligencia artificial en educación científica. Su investigación documentó aplicaciones relacionadas con la mejora de los entornos de aprendizaje, la elaboración de evaluaciones, la valoración del trabajo estudiantil y la predicción del rendimiento académico. Estos resultados permiten reconocer la diversidad funcional de la inteligencia artificial en el ámbito científico, aunque no justifican atribuir beneficios uniformes a todos los niveles educativos.

Por otra parte, Alé et al. (2025) examinaron 75 investigaciones empíricas sobre prácticas científicas escolares que incorporaban inteligencia artificial, identificadas mediante búsquedas en Scopus y Web of Science. Este antecedente resulta particularmente pertinente porque relaciona las herramientas inteligentes con las actividades científicas desarrolladas en contextos escolares, y no solamente con la enseñanza de contenidos tecnológicos.

Tabla 1. Matriz de investigaciones científicas identificadas

Autor y año	Investigación	Alcance y evidencia documentada
Almasri (2024)	IA en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias	Revisión sistemática de 74 estudios; aplicaciones en evaluación, apoyo pedagógico y predicción académica
Liu y Zhong (2024)	Enseñanza de IA en educación escolar	Revisión de 45 estudios empíricos sobre alfabetización en IA
Cheung et al. (2025)	Dimensión epistemológica de la IA en educación científica	Revisión sistemática sobre IA y construcción del conocimiento científico
Erümit y Özdemir Sarıalioğlu (2025)	IA en ciencias y química	Revisión de aplicaciones, efectos y limitaciones
Létourneau et al. (2025)	Sistemas tutoriales inteligentes en K-12	Revisión sistemática de tutores inteligentes escolares
Alé et al. (2025)	Prácticas científicas e IA en educación escolar	Revisión de alcance de 75 estudios empíricos
Fayzullina et al. (2025)	Aplicaciones y desafíos de IA en ciencias	Revisión sistemática de 17 estudios publicados entre 2020 y 2024

Nota. Esta matriz reúne siete publicaciones identificadas en fuentes editoriales o repositorios académicos.

La caracterización evidencia la existencia de antecedentes específicos sobre inteligencia artificial en educación científica y de investigaciones más amplias sobre su incorporación al

sistema escolar. Esta distinción resulta fundamental para interpretar los hallazgos, puesto que aprender conceptos de inteligencia artificial no equivale a utilizarla para comprender contenidos de Biología, Física o Química. Mientras las investigaciones sobre alfabetización en IA se orientan a desarrollar conocimientos acerca de la tecnología, los estudios de inteligencia artificial aplicada a Ciencias Naturales buscan examinar su contribución a la comprensión de fenómenos, el desarrollo de habilidades científicas y el acompañamiento de experiencias de aprendizaje.

Inteligencia artificial y aprendizaje significativo en las Ciencias Naturales

El aprendizaje significativo constituye una dimensión central para valorar la pertinencia pedagógica de la inteligencia artificial. Su contribución potencial no depende exclusivamente de proporcionar respuestas rápidas o recursos visualmente atractivos, sino de facilitar relaciones conceptuales entre los conocimientos previos del estudiantado y las nuevas explicaciones científicas.

La revisión de Almasri (2024) muestra que las aplicaciones de inteligencia artificial en educación científica comprenden diversas funciones de apoyo a la enseñanza y la evaluación. Sin embargo, la diversidad de herramientas y diseños de investigación impide interpretar su incorporación como una garantía general de aprendizaje significativo. En términos pedagógicos, resulta necesario examinar si los estudiantes logran comprender los conceptos, utilizarlos en situaciones diferentes y fundamentar sus explicaciones mediante evidencias.

De manera complementaria, Cheung et al. (2025) abordan las implicaciones epistemológicas de la inteligencia artificial en educación científica, lo que permite ampliar la discusión desde el rendimiento académico hacia la naturaleza del conocimiento que los estudiantes construyen mediante herramientas inteligentes. La diferencia es relevante porque una respuesta científicamente correcta producida por un sistema automatizado no demuestra necesariamente que el estudiante comprenda los principios que la sustentan.

Tabla 2. Dimensiones del aprendizaje significativo y aplicaciones de inteligencia artificial

Dimensión pedagógica	Aplicación potencial de IA	Evidencia necesaria para evaluar su contribución
Conocimientos previos	Diagnóstico adaptativo	Identificación válida de ideas iniciales
Comprensión	Tutoría inteligente y	Pruebas de

conceptual	explicaciones diferenciadas	comprensión y justificación
Indagación científica	Asistentes para formular preguntas e hipótesis	Calidad de las preguntas y argumentos
Retroalimentación formativa	Orientaciones adaptadas al desempeño	Corrección de errores y progreso documentado
Transferencia del aprendizaje	Problemas científicos contextualizados	Aplicación a situaciones nuevas
Autorregulación	Seguimiento de actividades y recomendaciones	Evidencia de autonomía y reflexión

Nota. Tabla de elaboración analítica propia.

La interpretación de estas dimensiones permite establecer que la personalización tecnológica debe diferenciarse de la personalización pedagógica. Un sistema puede modificar automáticamente la dificultad de una actividad sin garantizar que dicha modificación responda a una necesidad cognitiva relevante. En cambio, una intervención pedagógicamente fundamentada exige considerar el contenido científico, el nivel de desarrollo del estudiante, sus conocimientos previos y los criterios utilizados para determinar el progreso.

En consecuencia, el valor educativo de la inteligencia artificial debe analizarse mediante indicadores que trasciendan la satisfacción o la frecuencia de utilización de la plataforma. La comprensión conceptual, la calidad de las explicaciones, la argumentación científica y la capacidad para resolver problemas constituyen resultados más directamente relacionados con los objetivos de las Ciencias Naturales.

Aplicaciones de inteligencia artificial según los niveles educativos

La incorporación de inteligencia artificial en la educación científica debe analizarse de manera diferenciada, debido a que las necesidades de aprendizaje, los niveles de autonomía y las capacidades cognitivas del estudiantado experimentan transformaciones importantes a lo largo de la escolaridad. Las investigaciones identificadas permiten reconocer experiencias concretas en educación primaria y secundaria, mientras que la evidencia disponible en esta exploración resulta insuficiente para establecer efectos específicos en Educación Inicial.

Alé et al. (2025) identificaron que las investigaciones sobre prácticas científicas escolares mediadas por inteligencia artificial se concentran principalmente en educación secundaria. Asimismo, señalaron la necesidad de ampliar los estudios empíricos en educación

elemental. Este hallazgo es relevante para la presente investigación porque evidencia que la distribución de los estudios por nivel educativo no es homogénea y que la pertinencia de una tecnología no puede determinarse únicamente a partir de resultados obtenidos con estudiantes adolescentes.

Tabla 3. Aplicaciones pedagógicas de inteligencia artificial desde Educación Inicial hasta BGU

Nivel educativo	Contenidos de Ciencias Naturales	Estrategias de integración propuestas
Educación Inicial	Seres vivos, sentidos, agua, plantas y entorno natural	Creación docente de cuentos científicos, imágenes y preguntas para exploración guiada
EGB Preparatoria y Elemental	Animales, plantas, cuerpo humano, estados de la materia	Actividades visuales adaptadas, asistentes supervisados y clasificación de elementos naturales
EGB Media	Ecosistemas, biodiversidad, ciclos naturales y sistemas del cuerpo humano	Tutoría conversacional, retroalimentación adaptativa y actividades de investigación guiada
EGB Superior	Célula, genética, materia, energía y fenómenos físicos	Reconocimiento de imágenes, asistentes científicos y sistemas de apoyo a la indagación
Bachillerato General Unificado	Biología, Física y Química	Simulaciones con componentes inteligentes, análisis de datos, resolución de problemas y proyectos científicos

Nota. Elaboración propia como propuesta de transferencia pedagógica al currículo ecuatoriano.

La diferenciación presentada permite reconocer que, en Educación Inicial, la inteligencia artificial tendría mayor pertinencia como recurso de apoyo para la planificación docente y la preparación de experiencias educativas que como herramienta de interacción autónoma de los niños. La exploración directa del entorno, la manipulación de materiales y la comunicación interpersonal deben conservar su centralidad pedagógica.

En Educación General Básica, la incorporación progresiva de recursos inteligentes

puede orientarse hacia el reconocimiento de patrones, la interpretación de representaciones y la formulación de explicaciones científicas. En este sentido, el estudio de Deveci Topal et al. (2021) sobre la utilización de un chatbot en Ciencias Naturales de quinto grado constituye un antecedente empírico directamente relacionado con la educación escolar. Asimismo, Chen y Liu (2024) investigaron una aplicación de reconocimiento de imágenes mediante inteligencia artificial para apoyar la comprensión conceptual de la división celular y la motivación hacia el aprendizaje científico. Ambas investigaciones permiten identificar líneas de intervención específicas, aunque sus resultados deben interpretarse según las características particulares de sus diseños y poblaciones.

En Educación General Básica Superior y Bachillerato General Unificado, la mayor complejidad de los contenidos permite plantear actividades que involucren la formulación de hipótesis, la interpretación de datos, la comparación de modelos y la evaluación crítica de explicaciones generadas por sistemas inteligentes. No obstante, la pertinencia de estas actividades depende de la preparación docente, la calidad científica de los recursos y la capacidad del alumnado para reconocer errores o limitaciones en las respuestas automatizadas.

Inteligencia artificial y desarrollo del pensamiento científico

El pensamiento científico comprende capacidades relacionadas con la observación, la formulación de preguntas, la construcción de hipótesis, el análisis de información, la argumentación y la elaboración de explicaciones sustentadas en evidencias. Estas capacidades constituyen un criterio fundamental para evaluar la incorporación de inteligencia artificial en Ciencias Naturales, debido a que permiten diferenciar la simple utilización de tecnología de la construcción efectiva de conocimiento científico.

La revisión de Alé et al. (2025) identificó aplicaciones de visión por computadora, procesamiento del lenguaje natural y minería de datos en prácticas científicas escolares. Los autores encontraron que las investigaciones suelen articular estas herramientas con el aprendizaje basado en proyectos, la indagación científica y enfoques STEM. También señalaron contribuciones potenciales al análisis de datos y al pensamiento computacional, junto con limitaciones relacionadas con la confiabilidad de determinadas herramientas y la escasa incorporación de competencias éticas.

Tabla 4. Relación entre tecnologías inteligentes y habilidades del pensamiento científico

Tecnología aplicación	o relacionada	Habilidad científica	Criterio para valorar el aprendizaje
----------------------------------	--------------------------	---------------------------------	---

Reconocimiento de imágenes	Observación, identificación y clasificación	Exactitud de las clasificaciones y justificación científica
Procesamiento del lenguaje natural	Formulación de preguntas y explicaciones	Calidad conceptual y argumentativa
Sistemas tutoriales inteligentes	Resolución de problemas	Progreso en tareas científicas evaluadas
Análisis automatizado de datos	Interpretación de información y reconocimiento de patrones	Validez de las inferencias y conclusiones
Asistentes generativos	Contraste de hipótesis y revisión de explicaciones	Identificación de errores y verificación de fuentes
Sistemas adaptativos	Autorregulación y revisión conceptual	Evolución del desempeño y comprensión

Nota. Elaboración propia a partir de las aplicaciones identificadas en la literatura.

La relación entre inteligencia artificial y pensamiento científico exige considerar que los sistemas automatizados pueden contribuir tanto a la construcción del conocimiento como a la dependencia cognitiva. Cuando el estudiante utiliza una herramienta para contrastar hipótesis, examinar datos o identificar errores, la tecnología puede incorporarse a un proceso de razonamiento activo. Por el contrario, cuando se limita a reproducir respuestas generadas automáticamente, disminuyen las oportunidades para desarrollar explicaciones propias y evaluar la validez de la información.

Cheung et al. (2025) destacan la importancia de examinar las dimensiones epistemológicas de la inteligencia artificial en la educación científica. Esta perspectiva permite reconocer que la finalidad de la enseñanza de las ciencias no consiste únicamente en obtener respuestas correctas, sino también en comprender cómo se producen, contrastan y justifican los conocimientos. En consecuencia, la incorporación de inteligencia artificial debe preservar actividades de observación, experimentación, discusión y argumentación, evitando sustituir los procesos de indagación por respuestas automatizadas.

Personalización del aprendizaje y retroalimentación inteligente

La personalización constituye una de las aplicaciones más relevantes de la inteligencia artificial educativa, especialmente cuando se orienta a identificar dificultades de comprensión

y ofrecer apoyos diferenciados. Los sistemas tutoriales inteligentes pueden organizar actividades de acuerdo con el desempeño del estudiante, proporcionar orientaciones durante la resolución de problemas y generar información que facilite el seguimiento del aprendizaje.

Létourneau et al. (2025) desarrollaron una revisión sistemática sobre sistemas tutoriales inteligentes basados en inteligencia artificial en educación escolar. Este antecedente permite reconocer que la tutoría automatizada constituye un campo de investigación específico, cuyo análisis requiere distinguir las características de los sistemas, los contextos de aplicación y los resultados evaluados.

En Ciencias Naturales, la retroalimentación inteligente puede resultar especialmente pertinente para abordar errores conceptuales relacionados con fenómenos que requieren razonamiento causal. Por ejemplo, en Biología, las actividades pueden incorporar explicaciones progresivas sobre procesos celulares; en Física, orientaciones para interpretar relaciones entre variables; y en Química, apoyos para comprender transformaciones de la materia. Sin embargo, estos ejemplos representan posibilidades didácticas que deben contrastarse con estudios empíricos específicos antes de afirmar su eficacia.

La retroalimentación adquiere valor pedagógico cuando proporciona información que permite comprender por qué una respuesta es correcta o incorrecta y cómo mejorar el razonamiento. Por tanto, su calidad no debería evaluarse únicamente por la rapidez con la que se genera, sino por su precisión científica, claridad, adecuación al nivel educativo y contribución a la comprensión conceptual.

Gamificación inteligente y motivación hacia el aprendizaje científico

La gamificación y la inteligencia artificial representan enfoques tecnológicos y pedagógicos diferentes que pueden complementarse en determinadas experiencias educativas. Mientras la gamificación incorpora elementos propios del juego para estructurar actividades y favorecer la participación, la inteligencia artificial puede proporcionar mecanismos de adaptación, recomendación o retroalimentación automatizada.

Esta distinción resulta necesaria para evitar que cualquier actividad digital interactiva sea clasificada como una intervención de inteligencia artificial. Un cuestionario con puntos, niveles o recompensas no constituye necesariamente una aplicación inteligente. Para que exista integración de IA, debe identificarse un componente tecnológico capaz de realizar funciones como adaptación automatizada, clasificación, predicción o generación de contenidos mediante modelos computacionales apropiados.

Las revisiones de Liu y Zhong (2024) y Alé et al. (2025) permiten reconocer la

relevancia de las experiencias prácticas, los contextos auténticos y las estrategias participativas en la educación escolar relacionada con inteligencia artificial. Sin embargo, sus resultados no permiten concluir que la combinación de gamificación e inteligencia artificial sea superior a otras estrategias de enseñanza de las Ciencias Naturales en todos los contextos.

Desde una perspectiva pedagógica, la gamificación inteligente puede analizarse mediante actividades científicas organizadas en desafíos progresivos, misiones de indagación y procesos de retroalimentación adaptativa. Su pertinencia dependerá de que los elementos motivacionales se encuentren vinculados con objetivos de aprendizaje y no se limiten a recompensar la rapidez o la acumulación de puntuaciones.

En consecuencia, el diseño de experiencias gamificadas mediadas por inteligencia artificial debería priorizar la calidad de las explicaciones científicas, la colaboración, la argumentación y la resolución de problemas, evitando que la competencia entre estudiantes desplace la comprensión de los contenidos.

Formación docente y condiciones para la integración pedagógica de la inteligencia artificial

La formación docente constituye una condición esencial para incorporar inteligencia artificial en la enseñanza de las Ciencias Naturales. La disponibilidad de herramientas inteligentes no garantiza su utilización pedagógica adecuada, debido a que los docentes necesitan conocimientos relacionados con su funcionamiento, sus limitaciones y las estrategias necesarias para integrarlas en experiencias de aprendizaje.

La revisión de Alé et al. (2025) identificó la importancia de fortalecer la colaboración interdisciplinaria y desarrollar propuestas curriculares que incorporen la inteligencia artificial desde una perspectiva ética. Asimismo, Liu y Zhong (2024) destacaron la participación docente, el acompañamiento pedagógico y el diseño de experiencias contextualizadas como elementos relevantes para la educación escolar sobre inteligencia artificial.

Tabla 5. Competencias docentes necesarias para integrar IA en Ciencias Naturales

Competencia profesional	Descripción	Aplicación pedagógica
Alfabetización en IA	Comprender posibilidades, funcionamiento y limitaciones de las herramientas	Seleccionar tecnologías pertinentes
Planificación didáctica	Vincular recursos inteligentes con objetivos	Diseñar actividades de aprendizaje científico

curriculares

Evaluación crítica	Identificar errores, sesgos e información no verificable	Validar explicaciones y materiales
Mediación pedagógica	Acompañar la interpretación de contenidos	Orientar la indagación y el razonamiento
Evaluación formativa	Utilizar información del desempeño para mejorar la enseñanza	Proporcionar retroalimentación contextualizada
Ética digital	Proteger datos y promover usos responsables	Prevenir riesgos para estudiantes menores de edad
Inclusión educativa	Adaptar recursos a necesidades y condiciones diversas	Favorecer la participación equitativa

Nota. Elaboración propia como propuesta de competencias para el desarrollo profesional docente.

La interpretación de estas competencias permite sostener que la integración educativa de inteligencia artificial exige una formación que trascienda el aprendizaje instrumental de plataformas. El profesorado necesita desarrollar criterios para seleccionar recursos, verificar contenidos científicos y diseñar actividades en las que los estudiantes mantengan un papel activo.

En el contexto ecuatoriano, estas competencias adquieren particular relevancia por la diversidad de condiciones institucionales y territoriales. La incorporación de tecnologías inteligentes debe considerar tanto la preparación del docente como la disponibilidad de dispositivos, conectividad y materiales alternativos, evitando que el acceso desigual a recursos digitales se convierta en una nueva barrera para el aprendizaje científico.

Desafíos tecnológicos, pedagógicos y éticos

La literatura identificada reconoce que la incorporación de inteligencia artificial en educación científica presenta desafíos que deben examinarse junto con sus posibilidades pedagógicas. Entre ellos destacan la confiabilidad de los sistemas, la pertinencia de los contenidos, la dependencia tecnológica, la formación docente y la necesidad de establecer mecanismos de protección de la información estudiantil.

Alé et al. (2025) identificaron limitaciones relacionadas con herramientas de

confiabilidad reducida, aplicaciones de pago y una representación insuficiente de competencias éticas en las investigaciones sobre prácticas científicas escolares. Por su parte, la revisión de Fayzullina et al. (2025) aborda expresamente las aplicaciones, los impactos y los desafíos de la inteligencia artificial en la educación científica.

Tabla 6. Principales desafíos de la inteligencia artificial en Ciencias Naturales

Desafío	Riesgo educativo	Orientación para su tratamiento
Exactitud científica	Generación de explicaciones incorrectas	Verificación con fuentes científicas
Dependencia cognitiva	Sustitución del razonamiento estudiantil	Actividades de argumentación y comprobación
Brecha digital	Desigualdad en las oportunidades de acceso	Estrategias inclusivas y recursos alternativos
Protección de datos	Exposición de información de menores	Supervisión y minimización de datos
Formación insuficiente	Utilización superficial de herramientas	Capacitación didáctica y tecnológica
Sesgos algorítmicos	Respuestas inadecuadas o discriminatorias	Evaluación crítica de sistemas
Evaluación del aprendizaje	Confusión entre producción automatizada y desempeño propio	Evidencias individuales y evaluación auténtica

Nota. Elaboración propia mediante interpretación de los riesgos y condiciones de implementación examinados en la literatura.

Los desafíos identificados evidencian que la inteligencia artificial debe incorporarse mediante criterios de responsabilidad pedagógica y no únicamente por su carácter innovador. En particular, la protección de estudiantes menores de edad requiere especial atención cuando se utilizan plataformas que recopilan información, registran interacciones o generan perfiles de aprendizaje.

Asimismo, la calidad científica de los contenidos constituye una condición indispensable. Los sistemas generativos pueden producir explicaciones aparentemente coherentes que contengan errores conceptuales, referencias inexistentes o relaciones causales

incorrectas. Por esta razón, la validación docente y el contraste con fuentes científicas deben formar parte de las actividades de aprendizaje.

DISCUSIÓN

La evidencia examinada permite reconocer que la inteligencia artificial constituye un campo de innovación relevante para la enseñanza de las Ciencias Naturales, aunque sus contribuciones deben interpretarse atendiendo a la diversidad de tecnologías, contextos educativos y diseños metodológicos. Los antecedentes identificados muestran aplicaciones relacionadas con la personalización, la evaluación, la retroalimentación y el desarrollo de prácticas científicas escolares. Sin embargo, la existencia de estas aplicaciones no equivale a una demostración general de eficacia sobre el aprendizaje significativo.

Almasri (2024) documentó la diversidad de funciones desempeñadas por la inteligencia artificial en educación científica mediante una revisión de 74 estudios empíricos. Este antecedente coincide con la perspectiva de Alé et al. (2025), quienes identificaron diferentes tecnologías inteligentes incorporadas a prácticas científicas escolares. No obstante, ambas investigaciones presentan alcances distintos: mientras la primera examina un conjunto amplio de aplicaciones en educación científica, la segunda se concentra en prácticas escolares relacionadas con la comprensión, utilización y creación mediante inteligencia artificial. Esta diferencia metodológica obliga a interpretar sus resultados de manera complementaria, sin considerarlos equivalentes.

Una contribución importante de la literatura consiste en ampliar el análisis de la inteligencia artificial más allá de sus funciones automatizadas. La educación científica requiere que los estudiantes comprendan cómo se construye el conocimiento, cómo se contrastan las hipótesis y cómo se justifican las explicaciones. Desde esta perspectiva, los planteamientos de Cheung et al. (2025) permiten situar la discusión en el ámbito epistemológico, reconociendo que el aprendizaje de las ciencias comprende procesos de razonamiento y validación que no pueden sustituirse mediante la simple generación automática de respuestas.

La personalización del aprendizaje representa otra dimensión relevante. Los sistemas tutoriales inteligentes pueden ofrecer apoyos diferenciados, pero su valor pedagógico depende de que estos se correspondan con necesidades reales de comprensión. La revisión de Létourneau et al. (2025) proporciona un antecedente específico para examinar estas tecnologías en educación escolar. Sin embargo, la heterogeneidad de las aplicaciones y los contextos de investigación exige evitar conclusiones generalizadas sobre sus efectos en Biología, Física o Química sin contar con resultados comparables.

La diferenciación por niveles educativos constituye uno de los aspectos centrales de esta investigación. La evidencia localizada muestra una mayor atención a la educación secundaria que a los primeros años de escolaridad. Alé et al. (2025) identificaron esta distribución desigual y señalaron la necesidad de ampliar las investigaciones en educación elemental. Este resultado permite reconocer una limitación importante para el objetivo del presente artículo: las estrategias utilizadas con adolescentes no pueden trasladarse automáticamente a Educación Inicial, donde las experiencias sensoriales, la exploración directa y la mediación adulta tienen características pedagógicas diferentes.

En relación con la gamificación, la discusión permite establecer que su articulación con inteligencia artificial constituye una posibilidad de innovación didáctica, pero no una garantía de mejora académica. La utilización de desafíos, recompensas o actividades interactivas debe estar vinculada con objetivos científicos explícitos. Asimismo, resulta indispensable distinguir los recursos gamificados convencionales de los sistemas que incorporan verdaderamente procesos inteligentes de adaptación o generación de contenidos. Esta diferenciación contribuye a evitar imprecisiones conceptuales y favorece la construcción de investigaciones con variables claramente delimitadas.

Otro aspecto relevante corresponde a la formación docente. La incorporación de inteligencia artificial requiere competencias para diseñar actividades, verificar explicaciones y evaluar los aprendizajes. En este sentido, la mediación del profesorado continúa siendo esencial, particularmente cuando se pretende desarrollar pensamiento científico y aprendizaje significativo. La tecnología puede apoyar la organización de experiencias educativas, pero las decisiones relacionadas con la pertinencia curricular, la atención a la diversidad y la interpretación de los resultados permanecen bajo responsabilidad pedagógica humana.

En el contexto ecuatoriano, la transferencia de estas experiencias debe considerar las características del sistema educativo y las diferencias entre instituciones. La progresión desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado requiere propuestas diferenciadas, articuladas con los objetivos curriculares y adaptadas a las condiciones de cada establecimiento. Por tanto, las aplicaciones de inteligencia artificial identificadas internacionalmente constituyen referentes para formular estrategias educativas, pero no deben presentarse como intervenciones validadas en Ecuador sin investigaciones nacionales que respalden dicha afirmación.

Finalmente, los desafíos éticos y tecnológicos evidencian que la innovación educativa debe acompañarse de mecanismos de evaluación crítica. La confiabilidad de las respuestas, la protección de datos personales, la equidad de acceso y la prevención de la dependencia

cognitiva constituyen condiciones necesarias para una integración responsable. En consecuencia, el análisis de la inteligencia artificial en Ciencias Naturales debe considerar simultáneamente sus posibilidades para apoyar el aprendizaje y los riesgos que podrían comprometer la calidad, la inclusión y la autonomía intelectual del estudiantado.

Limitaciones de la evidencia y de la presente síntesis

La principal limitación de esta fase corresponde al carácter exploratorio de la identificación bibliográfica realizada. Aunque se localizaron publicaciones académicas pertinentes y se contrastaron sus datos principales con fuentes editoriales, todavía no se dispone de una búsqueda exhaustiva documentada en las tres bases de datos establecidas en la metodología, ni de un proceso completo de cribado, evaluación de elegibilidad y valoración individual de calidad.

Por esta razón, las investigaciones identificadas no pueden presentarse como el corpus definitivo de una revisión sistemática ejecutada conforme a PRISMA 2020. Tampoco corresponde calcular porcentajes de distribución de estudios, estimaciones agregadas de eficacia o indicadores estadísticos derivados de una muestra documental cuya selección todavía no se ha completado.

Otra limitación consiste en que varias publicaciones identificadas corresponden a revisiones sistemáticas previas, cuyos estudios primarios podrían coincidir entre sí. En consecuencia, sus resultados deben interpretarse como antecedentes de síntesis y no como investigaciones empíricas independientes susceptibles de agregación directa.

Finalmente, la evidencia localizada no permite establecer conclusiones específicas sobre la eficacia de la inteligencia artificial en todos los niveles educativos ecuatorianos. La extrapolación de resultados internacionales requiere considerar las diferencias curriculares, tecnológicas, culturales y socioeconómicas, así como desarrollar investigaciones de campo que permitan comprobar la pertinencia de las estrategias propuestas.

CONCLUSIONES

El análisis de la literatura científica identificada permite reconocer que la inteligencia artificial constituye un recurso tecnológico con posibilidades relevantes para la innovación pedagógica en la enseñanza de las Ciencias Naturales, particularmente mediante la personalización de experiencias educativas, la retroalimentación formativa, los sistemas tutoriales inteligentes y el acompañamiento de actividades de indagación científica. Sin embargo, su contribución al aprendizaje significativo no depende exclusivamente de la disponibilidad de herramientas digitales, sino de su articulación con objetivos curriculares,

estrategias didácticas fundamentadas y procesos de mediación docente que favorezcan la comprensión conceptual y la construcción activa del conocimiento. En este sentido, la evidencia examinada respalda la pertinencia de investigar sus aplicaciones educativas, aunque todavía no permite establecer efectos generalizables para todos los niveles de escolaridad ni afirmar que su utilización produzca mejoras académicas de manera automática.

En relación con el objetivo general de la investigación, se identificaron aplicaciones de inteligencia artificial vinculadas con el apoyo a la enseñanza, la evaluación del aprendizaje, la adaptación de actividades y el desarrollo de prácticas científicas escolares. Estas posibilidades adquieren especial relevancia en las Ciencias Naturales, donde la comprensión de fenómenos biológicos, físicos, químicos y ambientales exige establecer relaciones entre conceptos, interpretar evidencias y construir explicaciones fundamentadas. No obstante, resulta necesario diferenciar las funcionalidades de las tecnologías inteligentes de los resultados efectivamente demostrados por las investigaciones, puesto que la capacidad de generar contenidos, formular preguntas o proporcionar respuestas automatizadas no constituye, por sí misma, una evidencia suficiente de aprendizaje significativo. La evaluación de estas herramientas debe considerar indicadores relacionados con la comprensión conceptual, la transferencia del conocimiento, la argumentación científica y la resolución de problemas contextualizados.

La integración de inteligencia artificial desde Educación Inicial hasta Bachillerato General Unificado requiere reconocer las particularidades cognitivas, evolutivas y curriculares de cada etapa educativa. En Educación Inicial, su aplicación debe priorizar el apoyo a la planificación docente y la elaboración de recursos para experiencias de exploración del entorno natural, preservando la interacción humana, el juego, la observación directa y la experimentación sensorial como componentes esenciales del aprendizaje infantil. En Educación General Básica, las herramientas inteligentes pueden examinarse como recursos complementarios para favorecer la identificación de fenómenos, la organización de información, la formulación de preguntas y la comprensión progresiva de conceptos científicos. En Bachillerato General Unificado, sus aplicaciones potenciales comprenden el análisis de datos, la interpretación de modelos, la resolución de problemas y el acompañamiento de actividades de investigación relacionadas con Biología, Física y Química. Estas diferenciaciones constituyen orientaciones pedagógicas que requieren validación mediante estudios específicos y no deben interpretarse como intervenciones cuya eficacia haya sido comprobada en todos los niveles educativos.

El desarrollo del pensamiento científico representa una dimensión fundamental para

valorar la pertinencia de la inteligencia artificial en la educación. La literatura examinada permite identificar aplicaciones relacionadas con el procesamiento de información, el reconocimiento de patrones y el apoyo a actividades de indagación, pero también plantea la necesidad de preservar la autonomía intelectual del estudiantado. En consecuencia, las experiencias educativas mediadas por sistemas inteligentes deben promover la formulación de hipótesis, la contrastación de explicaciones, la interpretación crítica de resultados y la utilización de evidencias científicas. La inteligencia artificial puede desempeñar una función complementaria en estos procesos siempre que su utilización no sustituya la observación, la experimentación, el razonamiento propio ni la discusión argumentada. Desde esta perspectiva, el propósito de la innovación educativa debe orientarse hacia la formación de estudiantes capaces de comprender y cuestionar el conocimiento científico, y no únicamente hacia la automatización de tareas escolares.

La personalización del aprendizaje y la retroalimentación inteligente constituyen oportunidades de interés para atender diferencias individuales en los procesos de comprensión de las Ciencias Naturales. Los sistemas tutoriales y las plataformas adaptativas pueden ofrecer orientaciones diferenciadas y facilitar el seguimiento de determinadas actividades académicas; sin embargo, su valor educativo depende de la precisión de las respuestas, la pertinencia de las recomendaciones y la capacidad de los docentes para interpretar la información proporcionada. Asimismo, la articulación entre inteligencia artificial y gamificación representa una posibilidad de innovación que merece mayor investigación, especialmente cuando las actividades lúdicas se vinculan con objetivos científicos y mecanismos de adaptación pedagógica. No obstante, la motivación generada por recompensas, desafíos o experiencias interactivas no debe confundirse con la comprensión conceptual, por lo que resulta indispensable utilizar procedimientos de evaluación que permitan reconocer aprendizajes verificables.

La formación docente emerge como una condición transversal para la incorporación responsable de inteligencia artificial en los procesos de enseñanza. El profesorado necesita desarrollar competencias relacionadas con la alfabetización tecnológica, la planificación didáctica, la evaluación crítica de contenidos automatizados, la protección de datos y la selección de herramientas apropiadas para cada nivel educativo. Estas capacidades resultan especialmente importantes en las Ciencias Naturales, debido a que los sistemas inteligentes pueden generar explicaciones científicamente incorrectas o presentar información aparentemente convincente sin suficiente respaldo empírico. Por consiguiente, la mediación docente debe garantizar que los recursos utilizados respondan a criterios de rigurosidad

científica, pertinencia curricular e inclusión educativa, evitando que la innovación tecnológica se reduzca al uso instrumental de plataformas digitales.

En el contexto ecuatoriano, la integración de inteligencia artificial en la enseñanza de las Ciencias Naturales debe considerar la organización curricular del sistema educativo, la diversidad de realidades institucionales y las condiciones de acceso a infraestructura tecnológica. Las diferencias de conectividad, disponibilidad de dispositivos y preparación profesional pueden influir en las oportunidades de implementación, por lo que las estrategias propuestas requieren criterios de adaptación territorial, accesibilidad y sostenibilidad. Asimismo, resulta pertinente promover experiencias que relacionen los contenidos científicos con problemáticas ambientales, biológicas y tecnológicas del entorno, favoreciendo la contextualización del aprendizaje y el desarrollo de competencias aplicables a situaciones cotidianas. La incorporación de inteligencia artificial debe responder a necesidades educativas concretas y no constituir una finalidad independiente de los objetivos formativos establecidos para cada nivel de escolaridad.

Desde una perspectiva ética, la utilización de inteligencia artificial en instituciones educativas exige adoptar medidas orientadas a proteger la privacidad, prevenir sesgos algorítmicos, garantizar la supervisión humana y evitar prácticas que comprometan la autonomía del estudiantado. Estas consideraciones adquieren particular importancia cuando participan niños y adolescentes, debido a las diferencias existentes en sus capacidades para interpretar críticamente la información y reconocer riesgos asociados con los entornos digitales. En consecuencia, las instituciones educativas deben establecer orientaciones claras sobre la utilización de sistemas inteligentes, la verificación de contenidos y el tratamiento responsable de la información personal, procurando que la incorporación tecnológica contribuya a una educación científica inclusiva, segura y centrada en el desarrollo integral de los estudiantes.

El aporte científico del presente estudio consiste en organizar un marco de análisis que relaciona las aplicaciones de inteligencia artificial con el aprendizaje significativo, las prácticas de indagación científica, la mediación docente y las características de los diferentes niveles educativos. Esta aproximación permite diferenciar las tecnologías inteligentes de otros recursos digitales y establecer criterios para examinar sus posibilidades pedagógicas sin atribuirles efectos que no hayan sido demostrados. Sin embargo, debe reconocerse que la síntesis presentada se fundamenta en publicaciones identificadas mediante una exploración bibliográfica y que todavía requiere completar el procedimiento sistemático de búsqueda, selección y evaluación de calidad previsto en la metodología. Por tanto, sus conclusiones deben

interpretarse como una integración crítica preliminar de la evidencia disponible y no como resultados definitivos de una revisión sistemática PRISMA concluida.

Finalmente, se considera necesario desarrollar futuras investigaciones empíricas que evalúen la integración de inteligencia artificial en la enseñanza de las Ciencias Naturales mediante diseños experimentales, cuasiexperimentales y longitudinales, con instrumentos válidos para medir comprensión conceptual, pensamiento científico, motivación y transferencia del aprendizaje. Resulta particularmente importante ampliar los estudios en Educación Inicial y Educación General Básica Elemental, así como generar evidencia contextualizada en instituciones educativas ecuatorianas urbanas y rurales. Del mismo modo, se recomienda investigar la eficacia comparativa de diferentes tecnologías inteligentes, las condiciones de formación docente necesarias para su implementación y sus implicaciones éticas en poblaciones escolares. Estas líneas de investigación permitirán avanzar desde la identificación de posibilidades tecnológicas hacia la construcción de evidencias sólidas sobre su pertinencia y contribución al aprendizaje significativo de las Ciencias Naturales, consolidando una perspectiva de innovación educativa sustentada en criterios científicos, pedagógicos y de responsabilidad social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alé, J., Ávalos, B., & Araya, R. (2025). Scientific practices for understanding, applying and creating with artificial intelligence in K-12 education: A scoping review. *Review of Education*, 13(2), Article e70098. <https://doi.org/10.1002/rev3.70098>

Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education*, 54, 977–997. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3>

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>

Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G.-J. (2020). Application and theory gaps during the rise of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, Article 100002. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002>

Chen, P.-Y., & Liu, Y.-C. (2024). Impact of AI robot image recognition technology on improving students' conceptual understanding of cell division and science learning motivation. *Journal of Baltic Science Education*, 23(2), 208–220. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.208>

Cheung, K. K. C., Long, Y., Liu, Q., & Chan, H.-Y. (2025). Unpacking epistemic insights

of artificial intelligence (AI) in science education: A systematic review. *Science & Education*, 34, 747–777. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00511-5>

Deveci Topal, A., Dilek Eren, C., & Kolburan Geçer, A. (2021). Chatbot application in a 5th grade science course. *Education and Information Technologies*, 26, 6241–6265. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10627-8>

Erümit, A. K., & Özdemir Sarılioğlu, R. (2025). Artificial intelligence in science and chemistry education: A systematic review. *Discover Education*, 4, Article 178. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00622-3>

Eshach, H., & Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14, 315–336. <https://doi.org/10.1007/s10956-005-7198-9>

Fayzullina, A. R., Filippova, A. A., Garnova, N. Y., Astakhov, D. V., Kalmazova, N., & Zaripova, Z. F. (2025). Artificial intelligence in science education: A systematic review of applications, impacts, and challenges. *Contemporary Educational Technology*, 17(4), Article ep613. <https://doi.org/10.30935/cedtech/17519>

de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., Weller, J., Kuhn, J., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, Article 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

Létourneau, A., Deslandes Martineau, M., Charland, P., Karran, J. A., Boasen, J., & Léger, P. M. (2025). A systematic review of AI-driven intelligent tutoring systems (ITS) in K-12 education. *npj Science of Learning*, 10, Article 29. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00320-7>

Liu, X., & Zhong, B. (2024). A systematic review on how educators teach AI in K-12 education. *Educational Research Review*, 45, Article 100642. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100642>

Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>

Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change

in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4), 548–571. <https://doi.org/10.1002/sce.10032>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, Article n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, Article 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>