



Pensamiento Crítico e Inteligencia Artificial. Retos en Educación Secundaria Iberoamericana para Fortalecer la Alfabetización Algorítmica y Juicio Ético

Critical Thinking and Artificial Intelligence. Challenges in Ibero-American Secondary Education to strengthen Algorithmic Literacy and Ethical Judgment

Barajas-Meneses Fabiola*, Instituto Universitario de las Américas y el Caribe (México), Secretaría de Educación de Santander (Colombia) (fbarajas@unac.edu.mx) (<https://orcid.org/0009-0007-5769-8621>)
Gamboa Mora María Cristina, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Colombia), Instituto Universitario de las Américas y el Caribe (México) (maria.gamboa@unad.edu.co) (<https://orcid.org/0000-0001-8459-099X>)

* Indica el autor correspondiente

RESUMEN

Este estudio presenta una revisión sistemática de la producción científica sobre pensamiento crítico y su articulación con la inteligencia artificial (IA) en la educación secundaria, publicada en Scopus entre 2017 y 2024. La investigación se desarrolló conforme a la declaración PRISMA 2020, con protocolo registrado en PROSPERO, integró 821 documentos, analizados con criterios categoriales y de coocurrencia, complementados con la Ley de Bradford para examinar la concentración editorial. Los resultados evidencian un crecimiento sostenido, con un aumento acelerado de estudios sobre IA a partir de 2020, el corpus muestra que el pensamiento crítico se vincula principalmente a metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas, proyectos y juegos, y a competencias digitales emergentes como STEM y pensamiento computacional; aún persisten vacíos en las dimensiones metacognitivas y éticas. Se confirmó la hegemonía del inglés, la dispersión editorial y la baja participación de Iberoamérica. En síntesis, se concluye que el pensamiento crítico constituye una competencia transversal para enfrentar los retos de la IA en secundaria. Además, este estudio plantea como retos para Iberoamérica trabajar en la promoción del pensamiento crítico haciendo uso de la IA, en contextos interdisciplinarios, para conjugar tres dimensiones relevantes en la formación digital: lo cognitivo, lo metacognitivo y lo ético. Para el logro es necesario el impulso de estrategias pedagógicas, formación docente y en comunicación, así como avance en la política educativa para promover una alfabetización algorítmica crítica.

ABSTRACT

This study presents a systematic review of scientific production on critical thinking and its articulation with artificial intelligence (AI) in secondary education, published in Scopus between 2017 and 2024. The research was conducted in accordance with the PRISMA 2020 statement, with a protocol registered in PROSPERO. It included 821 documents, analyzed using categorical and co-occurrence criteria, supplemented by Bradford's Law to examine editorial concentration. The results show sustained growth, with an accelerated increase in studies on AI since 2020. The corpus shows that critical thinking is mainly linked to active methodologies such as problem-based learning, projects, and games, and to emerging digital skills such as STEM and computational thinking; gaps still persist in the metacognitive and ethical dimensions. The hegemony of English, editorial dispersion, and low participation from Latin America were confirmed. In synthesis, it is concluded that critical thinking is a cross-cutting competency for addressing the challenges of AI in secondary education. Furthermore, this study proposes challenges for Iberoamerica to work on promoting critical thinking using AI in interdisciplinary contexts to combine three relevant dimensions in digital training: cognitive, metacognitive, and ethical. To achieve this, it is necessary to promote pedagogical strategies, teacher training, and communication, as well as advances in educational policy to promote critical algorithmic literacy.

PALABRAS CLAVE | KEYWORDS

Pensamiento crítico, inteligencia artificial, educación secundaria, revisión sistemática, PRISMA 2020, alfabetización. Critical Thinking, Artificial Intelligence, Secondary Education, Systematic Review, PRISMA 2020, Literacy.

1. Introducción

El uso ético y estratégico de la inteligencia artificial (IA) ha adquirido creciente relevancia en la educación, al ofrecer herramientas innovadoras para afrontar los desafíos contemporáneos y fomentar sociedades más críticas, democráticas e informadas (Kasneji et al., 2023; Perrotta y Selwyn, 2020; Ragnedda, 2020; van den Berg y du Plessis, 2023). En este marco, el pensamiento crítico se configura como una competencia transversal esencial para analizar información, argumentar con evidencia y tomar decisiones responsables en entornos mediados por algoritmos (Facione, 2011). La argumentación constituye la base del pensamiento crítico y se potencia mediante la detección de falacias (Landazábal Cuervo y Gamboa Mora, 2018), consolidándose como recurso para resistir sesgos y automatismos digitales.

En la educación secundaria, esta competencia es decisiva no solo para el rendimiento académico, sino también para la formación ciudadana y la preparación del estudiantado frente a sociedades digitalizadas (Järvelä, Nguyen y Hadwin, 2023; Saputri et al., 2019; Setiana, Purwoko y Sugiman, 2021). Se ha documentado que fortalece habilidades analíticas y reflexivas necesarias para el aprendizaje significativo y la transferencia a contextos reales (Nguyen, 2020; Sheehan, 2018), además de relacionarse con la empleabilidad y la adaptación al cambio (Mtebe et al., 2020; Oquendo, Vanwyngaarden y Cutucache, 2022).

El pensamiento crítico se expresa en tres dimensiones complementarias: (1) la cognitiva, vinculada a la argumentación racional y la resolución de problemas (Ennis, 2018; Li et al., 2021); (2) la metacognitiva, asociada a la autorregulación cognitiva y la supervisión del aprendizaje (Du et al., 2024); y (3) la ética, que incluye la alfabetización algorítmica, la detección de falacias y el juicio ético (Cruz et al., 2023; García-Peñalvo y Mendes, 2018). El rol docente resulta decisivo para superar enfoques memorísticos y promover procesos formativos basados en autonomía, ética y autorregulación (Järvelä et al., 2023; Pourtousi, Babanezhad y Ghanizadeh, 2024; Tong, An y Cui, 2024).

Las oportunidades de la IA en secundaria incluyen personalización del aprendizaje, tutorías inteligentes, retroalimentación automatizada y análisis emocional (Alanazi et al., 2025; Cheng, 2021; Park y Lee, 2016; Yang, Ogata y Matsui, 2023). Sin embargo, los estudios se concentran principalmente en educación superior, con un énfasis técnico y vacíos pedagógicos en secundaria (Zawacki-Richter et al., 2019). Investigaciones recientes advierten que la falta de integración crítica puede aumentar la dependencia cognitiva y reducir la deliberación democrática (Flores-Vivar y García-Peñalvo, 2023; Lozano-Blasco y Cortés-Pascual, 2020; Zhai, Wibowo y Li, 2024). En Iberoamérica, barreras curriculares, limitaciones en la formación docente y carencias de infraestructura agravan la escasa representación en esta intersección temática (Martínez-Comesaña et al., 2023; Zajko, 2022).

Ante este panorama, fortalecer el pensamiento crítico con apoyo de la IA constituye un imperativo ético y pedagógico: permite autonomía, resistencia a la manipulación digital y participación democrática en sociedades altamente tecnológizadas (Facione, 2011; Ragnedda, 2020)2011; Ragnedda, 2020.

En consecuencia, esta revisión sistemática analiza la producción científica sobre pensamiento crítico y alfabetización algorítmica en educación secundaria, con el fin de identificar patrones, vacíos y aportes que fundamenten propuestas pedagógicas éticas y contextualizadas. El estudio se desarrolló conforme a la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2021), con protocolo registrado en PROSPERO, bajo un enfoque de ciencia abierta que asegura trazabilidad y rigor.

De este propósito se derivan las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es la evolución de la producción científica sobre pensamiento crítico y el uso de IA en la educación secundaria entre 2017 y 2024?
- ¿Qué habilidades del pensamiento crítico se han investigado con mayor frecuencia en relación con la IA (argumentación, autorregulación, ética, alfabetización algorítmica, resolución de problemas, detección de falacias)?
- ¿Qué vacíos y aportes emergen en la literatura que puedan orientar estrategias pedagógicas y programas de formación docente en la educación secundaria?

A diferencia de la literatura previa, centrada principalmente en la educación superior y en enfoques generales de alfabetización digital, este estudio focaliza la educación secundaria, incorpora la alfabetización algorítmica y el juicio ético como habilidades específicas del pensamiento crítico en entornos mediados por IA y propone estrategias pedagógicas concretas. Esta combinación constituye una contribución novedosa al campo educativo y refuerza la necesidad de estudios interdisciplinarios que articulen pedagogía, comunicación y ética de la inteligencia artificial.

2. Metodología

Este estudio se desarrolló conforme a la declaración PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas (Page et al., 2021), con protocolo registrado por los autores Barajas Meneses y Gamboa Mora (2025a) en PROSPERO (CRD420251084534). El diseño metodológico se estructuró para dar respuesta a las tres preguntas de investigación planteadas en la introducción:

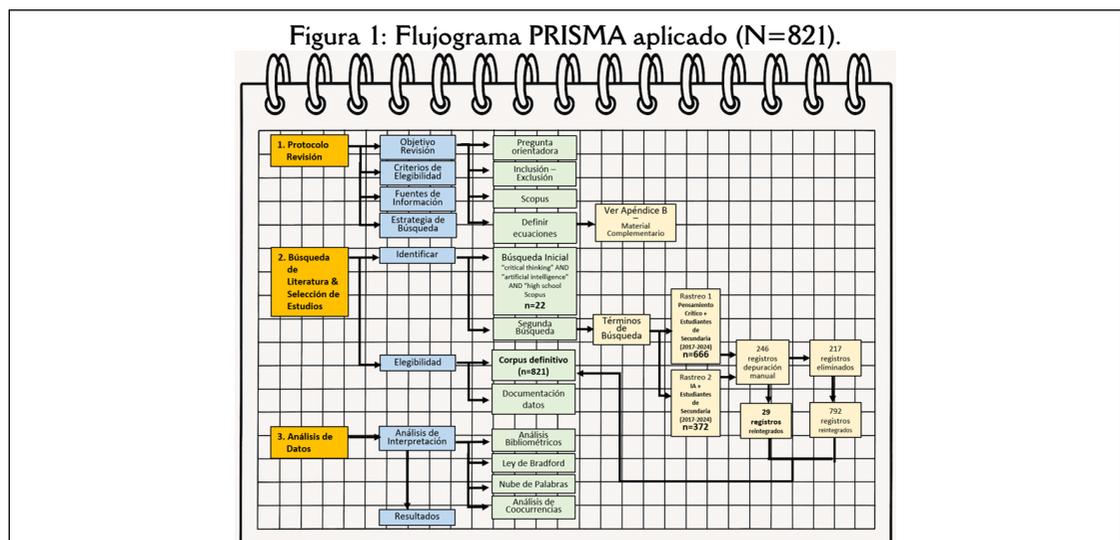
- RQ1: ¿Cuál es la evolución de la producción científica sobre pensamiento crítico y el uso de IA en la educación secundaria entre 2017 y 2024?
- RQ2: ¿Qué habilidades del pensamiento crítico se han investigado con mayor frecuencia en relación con la IA (argumentación, autorregulación, ética, alfabetización algorítmica, resolución de problemas, detección de falacias)?
- RQ3: ¿Qué vacíos y aportes emergen en la literatura que puedan orientar estrategias pedagógicas y programas de formación docente en la educación secundaria?

El estudio tuvo como objetivo analizar la producción científica sobre pensamiento crítico y alfabetización algorítmica en la educación secundaria durante el periodo 2017 y 2024, en el marco de la integración de la inteligencia artificial (IA), con el fin de identificar patrones, vacíos y aportes que fundamenten propuestas pedagógicas éticas y contextualizadas para su uso responsable. La elección de este tema se justifica por la brecha detectada en la literatura: la ausencia de estudios empíricos en secundaria que aborden la alfabetización algorítmica y el juicio ético en el uso de la IA, así como la limitada participación de países iberoamericanos en esta línea investigativa. Este vacío confirma la necesidad de un análisis interdisciplinario que articule educación, comunicación y ética digital, con un foco específico en la formación crítica a nivel educativo. De este modo, el estudio busca aportar al campo de la educación secundaria, al tiempo que ofrece contribuciones complementarias a la comunicación y a la alfabetización digital, reforzando la pertinencia de su enfoque interdisciplinario.

La revisión adoptó los principios de ciencia abierta, con base en los lineamientos de Colciencias (2018) y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (2022). Se integraron fuentes académicas diversas —artículos científicos, ponencias, capítulos de libro y monografías—, todas indexadas en Scopus, elegida por su cobertura multidisciplinar y visibilidad internacional. La extracción y codificación de datos se organizó en torno a tres dimensiones principales (cognitiva, metacognitiva y ética), coherentes con el marco analítico definido en la introducción.

2.1. Estrategia de búsqueda

La búsqueda se realizó exclusivamente en la base de datos Scopus, empleando combinaciones booleanas que incluyeron los descriptores “critical thinking”, “artificial intelligence” y “secondary education/high school”, en el periodo 2017–2024. La estrategia se evidencia en la Figura 1 del flujograma PRISMA (2020).



2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron documentos revisados por pares (artículos, capítulos, libros, ponencias), publicados entre 2017 y 2024, en inglés o español. Las áreas temáticas seleccionadas fueron computación, ciencias sociales, matemáticas, multidisciplinarias y toma de decisiones. Se excluyeron revisiones sistemáticas, editoriales, erratas y documentos retractados. Además, se aplicó un filtro de frecuencia mínima de 10 apariciones de palabras clave, con excepciones justificadas por su pertinencia, como Aprendizaje Basado en Problemas o “ABP”, Aprendizaje por Proyectos “APP”, Inteligencia Artificial Generativa “IAG” o “educación STEAM (Science (Ciencia), Technology (Tecnología), Engineering (Ingeniería), Arts (Arte) y Mathematics (Matemáticas))”.

2.3. Procedimiento de selección

El proceso de identificación y depuración arrojó inicialmente 1.038 registros. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se conformó un corpus final de 821 documentos, representado en el flujograma PRISMA (Figura 1). La depuración se realizó mediante revisión manual de títulos, resúmenes y palabras clave, con apoyo de filtros de frecuencia mínima en términos clave.

2.4. Extracción y análisis de datos

Se construyó una matriz estructurada de extracción de datos que incluyó variables como: tipo de documento, país, año, metodología, palabras clave y presencia de IA o pensamiento crítico.

El análisis se realizó en dos fases:

- Bibliométrica, identificando patrones de productividad y concentración editorial conforme a la Ley de Bradford (Sembay et al., 2020; Zhang, Wang y Qiu, 2024).
- Categorical inductiva, centrada en tres grandes dimensiones del pensamiento crítico: 1. Cognitiva (argumentación, resolución de problemas), 2. Metacognitiva (autorregulación) y 3. Ética (alfabetización algorítmica, detección de falacias y juicio ético).

Esta clasificación redujo la dispersión conceptual y permitió estructurar los hallazgos en un marco analítico coherente.

2.5. Integración metodológica: PRISMA 2020 y Ley de Bradford

La metodología PRISMA 2020 constituyó la guía principal del proceso, asegurando rigor en la identificación, selección, inclusión y exclusión de documentos, así como transparencia y trazabilidad. La Ley de Bradford, en cambio, se aplicó únicamente como técnica complementaria en la fase de análisis bibliométrico, con el propósito de identificar la concentración y dispersión de fuentes editoriales en el campo. De este modo, ambos enfoques se integran, PRISMA para garantizar la validez metodológica de la revisión y Bradford aporta un criterio adicional para caracterizar la dinámica editorial.

2.6. Evaluación de calidad

Se empleó una escala basada en seis criterios: número de citas, aplicación de IA o pensamiento crítico, coherencia metodológica, aportes, claridad argumentativa y uso ético de la tecnología. Para controlar sesgos, se priorizó la inclusión de documentos indexados en Scopus, revisados por pares y en acceso abierto. La mayoría de estudios incluidos presentó bajo riesgo de sesgo.

2.7. Gestión y software

La gestión y codificación de datos se realizó en Microsoft Excel, lo que permitió organizar los análisis bibliométricos y categoriales. Dado el carácter cualitativo-descriptivo del estudio, no se aplicaron herramientas estadísticas propias del metaanálisis cuantitativo.

2.8. Material complementario y trazabilidad

Los materiales complementarios incluyen el Checklist PRISMA 2020 (Apéndice A) y las ecuaciones de búsqueda (Apéndice B), disponibles en repositorios de acceso abierto (Barajas Meneses y Gamboa Mora, 2025b), lo que garantiza la transparencia y la replicabilidad del estudio.

2.9. Contribución y significado del estudio

Este estudio aporta al campo de la educación secundaria, al ofrecer un mapeo sistemático de la producción científica sobre pensamiento crítico y alfabetización algorítmica en contextos mediados por IA. Su contribución novedosa consiste en visibilizar una brecha poco explorada en la literatura y en proponer marcos de acción pedagógica para la formación docente crítica, la integración curricular de la alfabetización algorítmica y el diseño de entornos digitales reflexivos. Desde una perspectiva interdisciplinaria, se integran aportes de la pedagogía crítica, la comunicación digital y la ética de la IA, con el fin de orientar estrategias educativas éticas, pertinentes y situadas. Además, la integración metodológica de PRISMA 2020 y Ley de Bradford constituye un aporte innovador, como métodos complementarios para revisiones sistemáticas especializadas.

3. Análisis y Resultados

3.1. Resultados bibliométricos

Se realizó una revisión sistemática de literatura sobre pensamiento crítico y el uso de inteligencia artificial (IA) en educación secundaria, aplicando el modelo PRISMA 2020. La búsqueda en Scopus arrojó 1,038 documentos, depurados a 821 tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión definidos. Sobre este conjunto se desarrollaron análisis bibliométricos, léxicos (nube de palabras), de coocurrencia temática y de concentración editorial mediante la Ley de Bradford, con el objetivo de caracterizar la producción científica y explorar patrones conceptuales.

El análisis evidenció una dinámica investigativa sostenida entre 2017 y 2024, con una media de 3 autores por documento y filiación a 2 instituciones, principalmente universidades (79 %). Las publicaciones se distribuyeron en 470 revistas, lo que revela una alta dispersión editorial. Predominó el idioma inglés (93.43 %), con baja representación del español, portugués y otras lenguas.

Se constató la prevalencia de artículos científicos como formato dominante, siendo Estados Unidos e Indonesia los principales países productores. Las investigaciones sobre IA mostraron un crecimiento constante, mientras que las publicaciones sobre pensamiento crítico experimentaron una leve disminución entre 2021 y 2023. El análisis de coocurrencia posicionó la IA como eje temático emergente y la Ley de Bradford confirmó la fragmentación editorial, sin consolidación de revistas líderes en la materia.

3.1.1. Tipología documental

En relación con la RQ2, que explora las dimensiones más investigadas y los canales de difusión predominantes, se observó que la mayoría de los registros correspondió a artículos científicos en versión final (N=566; 68,94 %) y artículos in press (N=19; 2,31 %). También se identificaron 168 ponencias (20,46 %), 48 capítulos de libro (5,85 %) y 20 libros académicos (2,44 %).

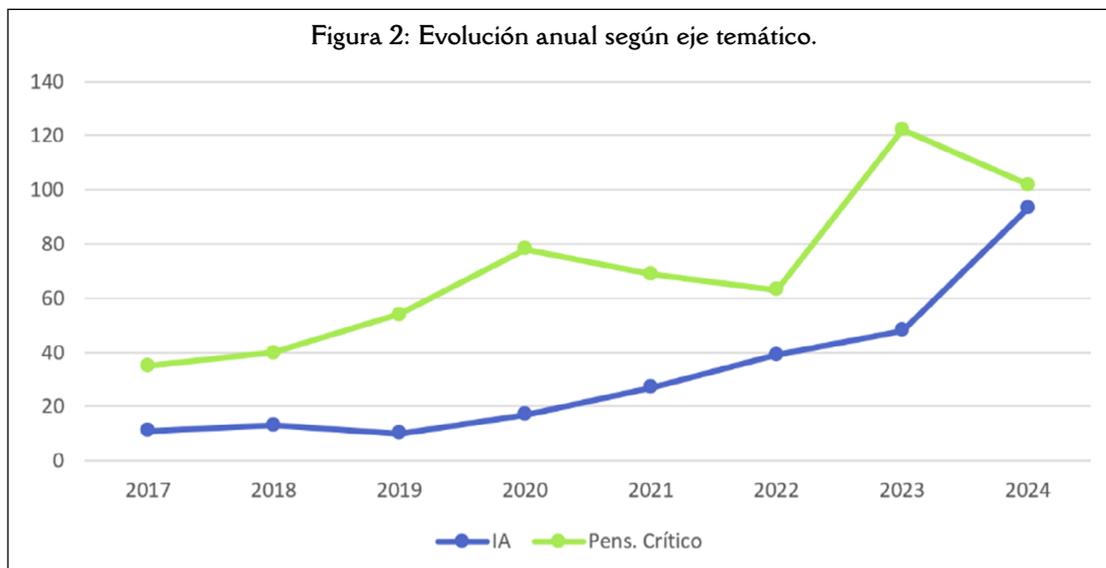
Esta distribución confirma que el artículo científico constituye el principal canal de diseminación del conocimiento en el ámbito educativo y tecnológico relacionado con el pensamiento crítico y la inteligencia artificial en contextos escolares.

3.1.2. Evolución temporal de la producción documental según ejes temáticos

Como se observa en la Figura 2, el análisis temporal del corpus (N=821) revela una evolución diferenciada en la producción científica sobre pensamiento crítico e inteligencia artificial (IA) en educación secundaria durante el periodo 2017–2024.

En respuesta a la RQ1, orientada a examinar la evolución de la producción científica en el periodo de estudio, los resultados muestran que el pensamiento crítico concentra 563 documentos (68,58 %) y la IA 258 (31,42 %). El pensamiento crítico se mantiene estable desde 2017, con un aumento progresivo hasta 2023 (122 documentos) y una ligera disminución en 2024 (102). En contraste, los estudios sobre IA muestran un crecimiento acelerado, pasando de 11 registros en 2017 a 93 en 2024 (+700 %). Esta evolución refleja una convergencia emergente, donde la IA gana protagonismo como herramienta pedagógica que con uso responsable fortalece el pensamiento crítico. No obstante, esta tendencia también confirma la persistencia de vacíos en su integración ética y crítica, particularmente en la educación secundaria iberoamericana (Figura 2).

Figura 2: Evolución anual según eje temático.



3.1.3. Distribución geográfica del corpus temático

La clasificación geográfica de los 821 documentos, según la filiación institucional del autor principal, permitió identificar 22 países con mayor representación en la producción científica sobre pensamiento crítico e inteligencia artificial (IA) en educación secundaria.

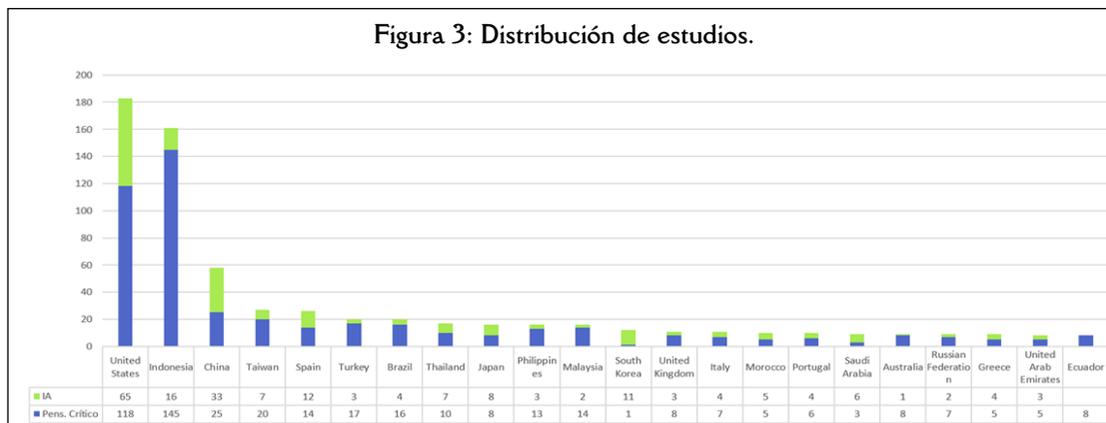
Estados Unidos encabeza la lista con 183 registros, seguido de Indonesia con 161 y China con 58. En el contexto europeo, España (26) y Reino Unido e Italia (11 cada uno) se destacan como los principales contribuyentes. En América Latina, la producción es reducida: Brasil aporta 20 documentos y Colombia apenas 3, lo que representa solo el 0,36 % del total.

Respecto a la RQ3, orientada a identificar vacíos y aportes en la literatura, este hallazgo confirma un vacío regional significativo y la limitada visibilidad académica de Iberoamérica en la intersección entre pensamiento crítico e IA en secundaria. A nivel continental, Asia lidera la producción, impulsada por Indonesia, China y Taiwán; le sigue América, principalmente por el aporte de Estados Unidos y Brasil; y en tercer lugar se ubica Europa, con participación destacada de España, Reino Unido, Italia y Portugal.

Esta disparidad evidencia la urgencia de promover políticas de internacionalización e inversión en investigación educativa en América Latina, con el fin de fortalecer la alfabetización algorítmica y el juicio ético en la educación secundaria.

La Figura 3 detalla esta distribución por país y por eje temático, evidenciando los enfoques predominantes en cada región.

Figura 3: Distribución de estudios.



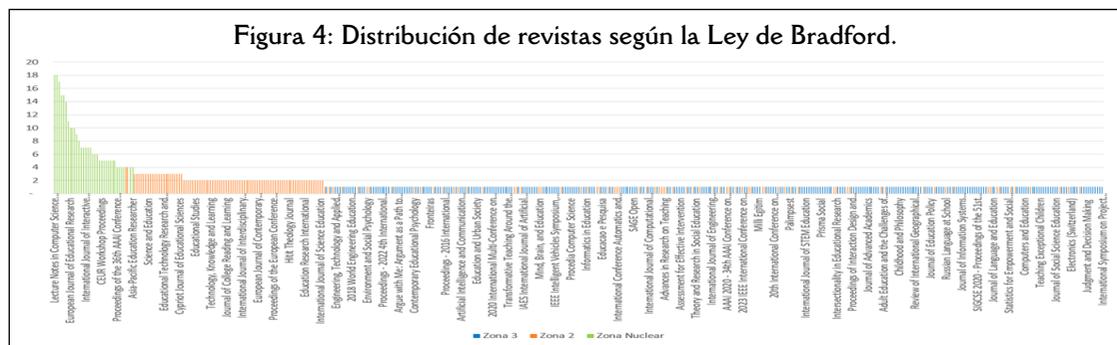
3.1.4. Distribución del corpus según idioma de publicación

En consonancia con la RQ3, los resultados sobre idioma de publicación revelan que el inglés predomina de manera abrumadora (93,42 %), seguido por el español (2,56 %) y el portugués (1,22 %). Otros idiomas representan apenas el 2,80 %. Esta distribución confirma un vacío idiomático que limita la circulación del conocimiento en lenguas iberoamericanas y reduce la inclusión de perspectivas locales en el debate internacional.

3.2. Aplicación de la Ley de Bradford

También en relación con la RQ3, se aplicó la Ley de Bradford como técnica bibliométrica complementaria para analizar la concentración editorial permitiendo agrupar las revistas en tres zonas de productividad decreciente, de acuerdo con la frecuencia de aparición (Brookes, 1985; Toledo, 2023).

Como se observa en la Figura 4, se identificó una zona nuclear de 34 revistas que concentran 272 documentos (33,1 %), entre ellas Education and Information Technologies, Thinking Skills and Creativity y Lecture Notes in Computer Science. Una segunda zona intermedia incluye 162 revistas con 275 documentos, y una tercera zona dispersa con 274 revistas y un documento cada una. La distribución casi equilibrada entre las tres zonas refleja un campo en expansión dinámica y sin una élite editorial consolidada, lo que confirma la fragmentación y diversidad de la investigación en este ámbito (Figura 4).



3.3. Nube de palabras

Asimismo en respuesta a la RQ2, que indaga sobre las habilidades más investigadas, se realizó un análisis de palabras clave. Con el propósito de explorar la concentración, se efectuó un análisis léxico basado en la frecuencia de términos declarados en los 821 documentos. La visualización se presenta en la Figura 5 mediante una nube de palabras, que permite identificar los conceptos más recurrentes y su densidad relativa en el corpus analizado.

Entre los términos más frecuentes destacan critical thinking, critical thinking skills, high school, education y high school students. Esta prevalencia confirma la centralidad del pensamiento crítico como eje articulador de la investigación en el ámbito escolar, así como su vinculación directa con la educación secundaria. Igualmente, emergen conceptos asociados a metodologías activas como problem-based learning, argumentation, project-based learning y design thinking, que reflejan un enfoque pedagógico orientado al aprendizaje significativo, la resolución de problemas y la construcción colaborativa del conocimiento.

En paralelo, se identifican categorías vinculadas a dimensiones afectivas y de equidad, tales como gender, motivation, self-efficacy y critical thinking disposition, lo que sugiere una atención creciente hacia factores psicoeducativos en el desarrollo de competencias críticas.

Finalmente, sobresalen términos relacionados con habilidades digitales y contextos emergentes, como STEM, computational thinking y 21st-century skills, que evidencian la articulación entre pensamiento crítico y alfabetización digital como competencias integradoras en escenarios educativos contemporáneos. No obstante, la escasa presencia de conceptos como curriculum, teacher training o algorithmic justice confirma los vacíos temáticos señalados en la introducción, especialmente en lo referido a la integración institucional y ética del pensamiento crítico en secundaria (Figura 5).

la baja coocurrencia de categorías metacognitivas (autorregulación) y éticas (justicia algorítmica, currículo, formación docente) revela vacíos persistentes en la literatura, lo que coincide con las brechas planteadas en la introducción y anticipa las líneas de discusión.

4. Discusión

En conjunto, los resultados muestran un campo en expansión, pero aún fragmentado, con alta dispersión editorial, predominio del inglés como lengua de publicación y baja representación iberoamericana. La centralidad del pensamiento crítico en las redes de coocurrencia confirma su valor como competencia transversal, mientras que el crecimiento acelerado de la investigación sobre inteligencia artificial (IA) desplaza el foco hacia la alfabetización algorítmica y la ética digital. Estos hallazgos coinciden con investigaciones recientes que subrayan la urgencia de integrar reflexión ética, autorregulación y resolución de problemas en entornos mediados por IA (Alanazi et al., 2025; Arriagada Bruneau y Arias, 2024; Du et al., 2024).

4.1. Evolución de la producción científica (RQ1)

Entre 2017 y 2024, la producción sobre pensamiento crítico se mantuvo estable, mientras que la investigación en IA creció más del 700 %, impulsada por el auge de tecnologías generativas y la digitalización educativa. Esta tendencia confirma un cambio de foco hacia lo tecnológico, que exige integración pedagógica crítica para evitar un uso instrumental que desplace la formación en pensamiento complejo (Chiappe Laverde, Sanmiguel Ruiz y Saez Delgado, 2025; Yang et al., 2023).

En términos de canales de difusión, la predominancia del artículo científico (71,25 %) coincide con su papel en la validación académica y en la consolidación de campos emergentes (Manterola et al., 2023; Sánchez-Meca, 2022; Sánchez-Serrano, Pedraza-Navarro y Donoso-González, 2022). La alta proporción de ponencias (20,46 %) denota un campo en consolidación, en el que los avances preliminares se presentan en congresos antes de llegar a revistas de impacto (Ramos-Galarza y García-Cruz, 2024). Capítulos y libros, aunque minoritarios, aportan marcos teóricos, pero su baja representación en Scopus reduce su visibilidad (Manterola et al., 2023).

Aunque se observa convergencia entre pensamiento crítico e IA, esta sigue siendo asimétrica. En línea con Cheung y Slavin (2013), las tecnologías educativas resultan más eficaces cuando se integran en enfoques centrados en pensamiento complejo y resolución de problemas. Aún no existe una integración epistemológica consolidada entre ambas líneas.

4.2. Dimensiones del pensamiento crítico investigadas (RQ2)

La nube de palabras y la coocurrencia confirman la prevalencia de la dimensión cognitiva (argumentación, resolución de problemas) y la debilidad de las dimensiones metacognitiva (autorregulación) y ética (alfabetización algorítmica, justicia digital, detección de falacias).

Metodologías activas como problem-based learning, project-based learning, design thinking y game-based learning aparecen con alta frecuencia, en consonancia con su eficacia en el desarrollo de competencias del siglo XXI (Merma-Molina, Gavilán-Martín y Urrea-Solano, 2022; Oquendo et al., 2022).

Competencias digitales emergentes como STEM y computational thinking evidencian la convergencia entre alfabetización digital y pensamiento crítico (García-Peñalvo y Mendes, 2018). Huang et al. (2023) refuerzan que esta integración es clave para articular alfabetización crítica y uso pedagógico de tecnologías inteligentes.

No obstante, la baja presencia de curriculum y assessment confirma la falta de institucionalización curricular y de evaluación sistemática. El pensamiento crítico aparece como nodo articulador hacia la argumentación y la resolución de problemas, mientras que la autorregulación permanece periférica (Elera Castillo, Barboza Elera y Chumpitaz Távara, 2023; Gunawardena y Wilson, 2021).

La limitada asociación entre IA y dimensiones como currículo o secundaria evidencia una escasa integración epistemológica de estas herramientas emergentes en los marcos pedagógicos actuales (Felipe Rivera, 2025; Gamboa Mora et al., 2023). La ausencia de nodos como justicia algorítmica o formación docente refuerza que la dimensión ética sigue siendo la más desatendida, particularmente en Iberoamérica (Martínez-Comesaña et al., 2023; Toledo, 2023).

4.3. Vacíos regionales, idiomáticos y editoriales (RQ3)

La concentración en Estados Unidos y Asia, y la prevalencia del inglés (93,4 %) revelan desigualdades

epistémicas asociadas a mayor inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) y a sistemas editoriales de alto impacto (OECD, 2023). América Latina participa de forma marginal; el caso de Colombia resulta especialmente crítico: aporta solo tres documentos (0,36 % del corpus), ninguno de ellos con foco explícito en la intersección entre pensamiento crítico e IA en secundaria. Esta baja representación se explica por factores estructurales:

- Baja inversión en I+D (menos del 0,3 % del PIB frente al 2–3 % de los países OCDE), lo que limita la financiación de proyectos interdisciplinarios en educación y tecnología (World Bank, 2020).
- Limitada indexación internacional de las revistas educativas nacionales, con predominio de publicaciones en español en bases regionales (SciELO, Redalyc), lo que restringe la circulación en Scopus y WoS (Mongeon y Paul-Hus, 2016).
- Fragmentación y discontinuidad en políticas científicas, donde los programas de internacionalización y apoyo a la investigación suelen depender de cambios administrativos, dificultando la consolidación de líneas estables de trabajo (OECD y UNIDO, 2019).

La prevalencia del inglés (93,42 %) frente al español (2,56 %) y portugués (1,22 %) refuerza un desequilibrio epistémico que limita la visibilidad regional (Zajko, 2022).

Además, la escasez de estudios colombianos refleja desconexiones entre investigación académica, formación docente y currículo escolar. La ausencia de proyectos sistemáticos sobre alfabetización algorítmica y ética digital en secundaria reproduce un rezago pedagógico que deja al país rezagado frente a tendencias internacionales. Este vacío también limita la posibilidad de generar evidencia empírica que alimente políticas educativas y curriculares nacionales.

La Ley de Bradford mostró un patrón tripartito con distribución casi equilibrada (272/275/274), indicador de un campo descentralizado y fragmentado, sin élite consolidada. Mientras que las revistas núcleo (p. ej., *Education and Information Technologies*, *Thinking Skills and Creativity*, *Lecture Notes in Computer Science*) ofrecen continuidad y legitimidad, la zona dispersa abre un espacio fecundo para innovación metodológica y perspectivas situadas (Sembay et al., 2020; Zhang et al., 2024). En este contexto, la ausencia de publicaciones colombianas en revistas núcleo evidencia la necesidad de estrategias nacionales que incentiven la participación en estos espacios.

Para Iberoamérica, y particularmente para Colombia, esta configuración representa tanto un desafío como una oportunidad estratégica:

- Escalar la visibilidad internacional mediante políticas de acceso abierto y traducción científica.
- Promover redes regionales de colaboración que fortalezcan la investigación en secundaria y la integren a la agenda global.
- Integrar la alfabetización algorítmica y la ética digital en el Marco Nacional de Cualificaciones (Ministerio de Educación Nacional, 2021), como puente entre investigación, formación docente y currículo.

De esta forma, Colombia podría no solo cerrar brechas de participación académica, sino también generar modelos educativos propios, pertinentes y exportables que respondan a las demandas de la era digital en clave de justicia epistémica y equidad educativa.

4.4. Síntesis e implicaciones prácticas

Los 21 hallazgos convergen en un diagnóstico: expansión del campo con vacíos críticos en las dimensiones ética, metacognitiva y regional. Se proponen estrategias escalonadas:

- Corto plazo: formación docente en alfabetización algorítmica y ética; rúbricas de evaluación para tareas mediadas por IA; pilotos de uso responsable de herramientas (p. ej., tutores con Procesamiento del Lenguaje Natural - PLN) con criterios de transparencia y trazabilidad.
- Mediano plazo: integración curricular transversal de pensamiento crítico, ética de la IA y autorregulación; diseño de entornos digitales críticos que fomenten reflexión y deliberación; secuencias didácticas que articulen argumentación-resolución de problemas-autorregulación.
- Largo plazo: políticas educativas con enfoque de ethics-by-design y gestión de riesgos centrada en lo humano; comunidades de práctica para desarrollo profesional continuo; estrategias de internacionalización que aumenten la participación latinoamericana en la producción científica.

Nivel de certeza de la evidencia. El juicio cualitativo basado en consistencia temática, diversidad geográfica y calidad editorial (2017–2024) sugiere un nivel de confianza moderado-alto, suficiente para sustentar propuestas pedagógicas e investigaciones futuras.

En la era de la IA, el pensamiento crítico debe constituir el eje estructural de la educación secundaria, garantizando un equilibrio entre innovación tecnológica, desarrollo cognitivo, autorregulación y ética digital. Esta revisión aporta una hoja de ruta para transitar desde un énfasis predominantemente cognitivo hacia un marco integrador que incluya, de manera explícita, las dimensiones metacognitiva y ética.

5. Conclusiones

En coherencia con las preguntas de investigación planteadas en la introducción, este estudio concluye que la producción científica sobre pensamiento crítico y su relación con la inteligencia artificial (IA) en educación secundaria conforma un campo en expansión, pero todavía fragmentado y desigual. El análisis de 821 documentos publicados entre 2017 y 2024 permite afirmar que:

- RQ1 (evolución temporal): el pensamiento crítico mantiene una presencia estable, mientras que la IA crece de forma acelerada desde 2020, en paralelo al auge de tecnologías generativas y la digitalización educativa. Este hallazgo confirma que la IA se ha convertido en un eje emergente de la investigación educativa en secundaria, aunque su integración crítica y pedagógica aún no se encuentra consolidada (Chiappe Laverde et al., 2025; Su y Yang, 2023).
- RQ2 (dimensiones investigadas): la centralidad de la dimensión cognitiva (argumentación y resolución de problemas) contrasta con la marginalidad de la metacognitiva (autorregulación) y la ética (alfabetización algorítmica, justicia digital, detección de falacias). Esta asimetría evidencia un enfoque parcializado de la investigación, donde predominan habilidades cognitivas mientras se descuida la formación ética y la capacidad de autorregular aprendizajes en entornos mediados por IA (Elera Castillo et al., 2023; Gunawardena y Wilson, 2021).
- RQ3 (vacíos regionales e idiomáticos): se ratifica la hegemonía de Estados Unidos y Asia en la producción científica, el predominio del inglés (93,4 %) y la baja representación de Iberoamérica (con Colombia aportando apenas el 0,36 % de los estudios). Asimismo, la dispersión editorial reflejada en la Ley de Bradford muestra un campo plural, pero sin consolidación de revistas líderes. Estas condiciones reproducen brechas epistémicas que limitan la circulación de conocimiento contextualizado y refuerzan desigualdades estructurales en la investigación educativa (Flor Ivett Reyes, 2024; Mongeon y Paul-Hus, 2016).

En síntesis, los resultados reafirman que el pensamiento crítico debe ser el eje estructural de la formación secundaria en la era de la IA, articulando innovación tecnológica con desarrollo cognitivo, autorregulación y ética digital. Además, este estudio aporta un marco tridimensional que facilita la interpretación de la literatura y visibiliza vacíos en dimensiones éticas, metacognitivas y regionales, orientando estrategias pedagógicas y políticas educativas para la alfabetización algorítmica en secundaria. Este estudio contribuye principalmente al campo de la educación secundaria, con aportes complementarios a la comunicación educativa y la alfabetización digital, fortaleciendo así su carácter interdisciplinario.

5.1. Retos en educación secundaria

Los hallazgos permiten delinear una hoja de ruta para la investigación y la práctica educativa en 5 frentes estratégicos:

- Intervenciones pedagógicas: se requiere impulsar estudios empíricos en secundaria que integren IA para fortalecer la argumentación, el razonamiento lógico y la detección de falacias. El pensamiento crítico debe entenderse no como un resultado final, sino como un proceso continuo de andamiaje cognitivo y ético (Castillo Herrera, 2023; Ortiz Ibáñez, Adúriz-Bravo y Tuay Sigua, 2024; Trujillo Amaya, 2024).
- Currículo y alfabetización algorítmica: es urgente formular marcos curriculares innovadores que incorporen pensamiento crítico, ética de la IA y alfabetización algorítmica de manera transversal, superando la brecha entre teoría y práctica y promoviendo una comprensión crítica de los procesos algorítmicos (Chen et al., 2020; Gillani et al., 2023; Merino-Campos, 2025).
- Comparación regional: se necesitan estudios comparativos entre regiones y contextos iberoamericanos que visibilicen desigualdades en acceso tecnológico, prácticas pedagógicas y niveles de alfabetización crítica.

- Formación docente: los programas de desarrollo profesional deben centrarse en competencias éticas y críticas vinculadas a la IA, adaptando experiencias exitosas de la educación superior al nivel secundario (Archambault et al., 2024; Kong, Cheung y Zhang, 2023).
- Entornos digitales críticos: se deben diseñar ecosistemas pedagógicos que fomenten la reflexión, la agencia estudiantil y la toma de decisiones informadas. Estas iniciativas deben orientarse no solo a mejorar el aprendizaje, sino también a consolidar una ciudadanía digital crítica y responsable (Cosi Blancas y Zeballos Hurtado, 2024; Kavitha y Joshith, 2024; Li y Gu, 2023; Sanusi et al., 2023).

El aporte principal de este estudio es ofrecer un diagnóstico riguroso y contextualizado que visibiliza vacíos estructurales (éticos, metacognitivos y regionales), propone un marco analítico tridimensional como herramienta interpretativa y sugiere una agenda de acción que articula investigación, currículo y políticas educativas.

5.2. Limitaciones del estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones:

1. Cobertura de fuentes: se restringió a Scopus, lo que excluye literatura de otras bases (ERIC, Web of Science, Redalyc). Esto pudo limitar la inclusión de estudios iberoamericanos relevantes (Rendón Gil y Angulo Armenta, 2022).
2. Idioma y población: se priorizaron textos en inglés, español y portugués, y el análisis se centró en secundaria, sin considerar primaria o educación superior.
3. Alcance metodológico: al tratarse de un estudio bibliométrico y sistemático, no se aplicaron técnicas propias del metaanálisis cuantitativo.

No obstante, estas limitaciones orientan una agenda futura clara: ampliar la cobertura de bases y lenguas, diversificar los diseños metodológicos incorporando enfoques mixtos y fomentar estudios empíricos en secundaria que fortalezcan la representación de Iberoamérica en la investigación global (Aguillo Caño, Uribe Tirado y López López, 2017; Maz-Machado, Jiménez-Fanjul y Villarraga Rico, 2016; Merino-Campos, 2025; Munaye et al., 2025).

Notas

¹ Nota. Nivel de frecuencias de palabras mayores a 5 repeticiones.

Apoyos

Esta investigación no recibió ningún tipo de financiación de agencias del sector público, comercial o sin ánimo de lucro.

Referencias

- Aguillo Caño, I. F., Uribe Tirado, A. y López López, W. (2017). Visibilidad de los investigadores colombianos según sus indicadores en Google Scholar y ResearchGate. Diferencias y similitudes con la clasificación oficial del sistema nacional de ciencia - COLCIENCIAS. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 40(3), 221-230. <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v40n3a03>
- Alanazi, M., Soh, B., Samra, H. y Li, A. (2025). The Influence of Artificial Intelligence Tools on Learning Outcomes in Computer Programming: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Computers*, 14(5), 185. <https://doi.org/10.3390/computers14050185>
- Archambault, S. G., Ramachandran, S., Acosta, E. y Fu, S. (2024). Ethical dimensions of algorithmic literacy for college students: Case studies and cross-disciplinary connections. *The Journal of Academic Librarianship*, 50(3), 102865. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2024.102865>
- Arriagada Bruneau, G. y Arias, J. (2024). ¿Cómo integrar la ética de la inteligencia artificial en el currículo? Análisis y recomendaciones desde el feminismo de la ciencia y de datos. *Revista de Filosofía*, 81, 137-160. <https://doi.org/10.5354/0718-4360.2024.74905>
- Barajas Meneses, F. y Gamboa Mora, M. C. (2025a). *Critical Thinking and Artificial Intelligence. Challenges in Ibero-American Secondary Education to strengthen Algorithmic Literacy and Ethical Judgment* (PROSPERO Registration CRD420251084534). PROSPERO International Prospective Register of Systematic Reviews. <https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/view/CRD420251084534>
- Barajas Meneses, F. y Gamboa Mora, M. C. (2025b). *Pensamiento crítico e inteligencia artificial: Retos en educación secundaria iberoamericana para fortalecer la alfabetización algorítmica y juicio ético* (Supplementary material) [Dataset]. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.29538338>
- Brookes, B. C. (1985). "Sources of information on specific subjects" by S.C. Bradford. *Journal of Information Science*, 10(4), 173-175. <https://doi.org/10.1177/016555158501000406>
- Castillo Herrera, M. E. (2023). Impacto de la inteligencia artificial en el proceso de enseñanza y aprendizaje en la educación secundaria. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(6), 515-530. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1459>

- Chen, X., Xie, H., Zou, D. y Hwang, G.-J. (2020). Application and theory gaps during the rise of Artificial Intelligence in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002>
- Cheng, Z. (2021). Applicational Status Analysis of Artificial Intelligence Technology in Middle School Education and Teaching. En J. MacIntyre, J. Zhao, y X. Ma (Eds.), *The 2020 International Conference on Machine Learning and Big Data Analytics for IoT Security and Privacy* (pp. 171-178). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62746-1_25
- Cheung, A. C. K. y Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 9, 88-113. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.001>
- Chiappe Laverde, A., Sanmiguel Ruiz, C. y Saez Delgado, F. M. (2025). IA generativa versus profesores: Reflexiones desde una revisión de la literatura. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 72, 119-137. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.107046>
- Colciencias. (2018). *Lineamientos para la implementación de prácticas de ciencia abierta en Colombia*. Gobierno de Colombia. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/Lineamientos%20ciencia%20abierta%2017-dic-2018-doc.pdf
- Cosí Blancas, A. J. y Zeballos Hurtado, N. J. (2024). La relación del pensamiento crítico con el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería mecánica eléctrica. *Revista InveCom*, 4(2), 1-8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10641867>
- Cruz, F. L., Troyano, J. A., Enríquez, F. y Ortega, F. J. (2023). Detección y clasificación de falacias prototípicas y espontáneas en español. *Revista Procesamiento del Lenguaje Natural*, 71, 53-62. <https://doi.org/10.26342/2023-71-4>
- Du, H., Sun, Y., Jiang, H., Islam, A. Y. M. A. y Gu, X. (2024). Exploring the effects of AI literacy in teacher learning: an empirical study. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 559. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03101-6>
- Elera Castillo, R. S., Barboza Elera, E. A. y Chumpitaz Távara, E. P. (2023). Pensamiento Crítico en educación secundaria: una revisión sistemática. *Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 7(31), 2670-2684. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v7i31.693>
- Ennis, R. H. (2018). Critical Thinking Across the Curriculum: A Vision. *Topoi*, 37(1), 165-184. <https://doi.org/10.1007/s11245-016-9401-4>
- Facione, P. A. (2011). *Critical Thinking: What It Is and Why It Counts*. Insight Assessment. <https://www.law.uh.edu/blakely/advocacy-survey/Critical%20Thinking%20Skills.pdf>
- Felipe Rivera, J. S. (2025). Revisión sistemática de la enseñanza de la inteligencia artificial en la educación secundaria. *Revista Multidisciplinaria Voces de América y el Caribe*, 2(1), 617-641. <https://doi.org/10.69821/REMUUVAC.v2i1.207>
- Flor Ivett Reyes, G. (2024). Inclusión educativa: descripción de barreras por diversidad lingüística y cultural. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(28), e655. <https://doi.org/10.23913/ride.v14i28.1898>
- Flores-Vivar, J. y García-Peñalvo, F. (2023). Reflexiones sobre la ética, potencialidades y retos de la Inteligencia Artificial en el marco de la Educación de Calidad (ODS4). *Comunicar*, 74, 37-47. <https://doi.org/10.3916/C74-2023-03>
- Gamboa Mora, M. C., Hernández López, F., López Rodríguez, N. M. y Vesga Bravo, G. J. (2023). Metacognitive skills of undergraduate university students: study based on three colombian institutions. *Psicogente*, 26(50), 85-111. <https://doi.org/10.17081/psico.26.50.6162>
- García-Peñalvo, F. J. y Mendes, A. J. (2018). Exploring the computational thinking effects in pre-university education. *Computers in Human Behavior*, 80, 407-411. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.005>
- Gillani, N., Eynon, R., Chiabaut, C. y Finkel, K. (2023). Unpacking the “Black Box” of AI in Education. *Educational Technology & Society*, 26(1), 99-111. <https://www.jstor.org/stable/48707970>
- Gunawardena, M. y Wilson, K. (2021). Scaffolding students’ critical thinking: A process not an end game. *Thinking Skills and Creativity*, 41, 100848. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100848>
- Huang, X., Zou, D., Cheng, G., Chen, X. y Xie, H. (2023). Trends, Research Issues and Applications of Artificial Intelligence in Language Education. *Educational Technology & Society*, 26(1), 112-131. <https://www.jstor.org/stable/48707971>
- Järvelä, S., Nguyen, A. y Hadwin, A. (2023). Human and artificial intelligence collaboration for socially shared regulation in learning. *British Journal of Educational Technology*, 54(5), 1057-1076. <https://doi.org/10.1111/bjet.13325>
- Kasneji, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., et al. (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>
- Kavitha, K. y Joshith, V. P. (2024). Pedagogical incorporation of artificial intelligence in K-12 science education: A decadal bibliometric mapping and systematic literature review (2013-2023). *Journal of Pedagogical Research*, 8(4), 437-465. <https://doi.org/10.33902/JPR.202429218>
- Kong, S.-C., Cheung, W. M.-Y. y Zhang, G. (2023). Evaluating an Artificial Intelligence Literacy Programme for Developing University Students’ Conceptual Understanding, Literacy, Empowerment and Ethical Awareness. *Educational Technology & Society*, 26(1), 16-30. <https://www.jstor.org/stable/48707964>
- Landazábal Cuervo, D. P. y Gamboa Mora, M. C. (2018). *El proceso de argumentación en la formación inicial de docentes: Una experiencia mediada por Dígalo y Simas*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UD). <https://doi.org/10.69740/UD.9789587870374>
- Li, S. y Gu, X. (2023). A Risk Framework for Human-centered Artificial Intelligence in Education Based on Literature Review and Delphi-AHP Method. *Educational Technology & Society*, 26(1), 187-202. <https://www.jstor.org/stable/48707976>
- Li, S., Lajoie, S. P., Zheng, J., Wu, H. y Cheng, H. (2021). Automated detection of cognitive engagement to inform the art of staying engaged in problem-solving. *Computers & Education*, 163, 104114. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104114>
- Lozano-Blasco, R. y Cortés-Pascual, A. (2020). Usos problemáticos de Internet y depresión en adolescentes: Meta-análisis. *Comunicar*, 63, 109-120. <https://doi.org/10.3916/C63-2020-10>
- Manterola, C., Rivadeneira, J., Delgado, H., Sotelo, C. y Otzen, T. (2023). ¿Cuántos tipos de revisiones de la literatura existen? Enumeración, descripción y clasificación. Revisión cualitativa. *International Journal of Morphology*, 41(4), 1240-1253. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022023000401240>

- Martínez-Comesaña, M., Rigueira-Díaz, X., Larrañaga-Janeiro, A., Martínez-Torres, J., Ocarranza-Prado, I. y Kreibel, D. (2023). Impacto de la inteligencia artificial en los métodos de evaluación en la educación primaria y secundaria: revisión sistemática de la literatura. *Revista de Psicodidáctica*, 28(2), 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2023.06.001>
- Maz-Machado, A., Jiménez-Fanjul, N. N. y Villarraga Rico, M. E. (2016). La producción científica colombiana en SciELO: un análisis bibliométrico. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 39(2), 111-119. <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v39n2a03>
- Merino-Campos, C. (2025). The Impact of Artificial Intelligence on Personalized Learning in Higher Education: A Systematic Review. *Trends in Higher Education*, 4(2), 17. <https://doi.org/10.3390/higheredu4020017>
- Merma-Molina, G., Gavilán-Martín, D. y Urrea-Solano, M. (2022). Actively Open-Minded Thinking, Personality and Critical Thinking in Spanish Adolescents: A Correlational and Predictive Study. *International Journal of Instruction*, 15(2), 579-600. <https://e-iji.net/ats/index.php/pub/article/view/400>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2022). *Política Nacional de Ciencia Abierta 2022–2031*. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/politica_nacional_de_ciencia_abierta_2022_-_version_aprobada.pdf
- Ministerio de Educación Nacional. (2021). *Marco Nacional de Cualificaciones: Definición y estructura*. Colombia Aprende. <https://especiales.colombiaprende.edu.co/mnc/index.html>
- Mongeon, P. y Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213-228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Mtebe, J. S., Kissaka, M. M., Raphael, C. y Steven, J. (2020). Promoting Youth Employment through Information and Communication Technologies in Vocational Education in Tanzania. *Journal of Learning for Development*, 7(1), 90-107. <https://doi.org/10.56059/jl4d.v7i1.339>
- Munaye, Y. Y., Admass, W., Belayneh, Y., Molla, A. y Asmare, M. (2025). ChatGPT in Education: A Systematic Review on Opportunities, Challenges, and Future Directions. *Algorithms*, 18(6), 352. <https://doi.org/10.3390/a18060352>
- Nguyen, N. (2020). Critical reading skills in ESL students: Challenges and pedagogical recommendations. *English Australia Journal*, 36(2), 34-51. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1345235.pdf>
- OECD. (2023). *Main Science and Technology Indicators*. <https://www.oecd.org/sti/msti.htm>
- OECD y UNIDO. (2019). *Production Transformation Policy Review of Colombia: Unleashing Productivity*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264312289-en>
- Oquendo, P. M., Vanwyngaarden, K. N. y Cutucache, C. E. (2022). Lived Experiences of Former STEM Undergraduate Mentors of an Afterschool Mentoring Program: An Interpretative Phenomenological Analysis. *The Qualitative Report*, 27(10), 2157-2173. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5674>
- Ortiz Ibáñez, E. R., Adúriz-Bravo, A. y Tuay Sigua, R. N. (2024). La incidencia del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias en secundaria. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 19(3), 564-582. <https://doi.org/10.14483/23464712.21496>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Park, M. A. y Lee, J. (2016). Rural Minorities in Computing Education: A Study of Rural Schools with No CS/IT Courses in Oklahoma. En *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)* (pp. 370-373). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSCI.2016.0076>
- Perianes-Rodríguez, A., Waltman, L. y van Eck, N. J. (2016). Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*, 10(4), 1178-1195. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>
- Perrotta, C. y Selwyn, N. (2020). Deep learning goes to school: toward a relational understanding of AI in education. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 251-269. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1686017>
- Pourtousi, Z., Babanezhad, M. y Ghanizadeh, A. (2024). Finding the Link Between Iranian EFL Teacher Motivation and Engagement via Ant Colony Optimization Algorithm and Fuzzy Decision Mode. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 58(4), 1261-1283. <https://doi.org/10.1007/s12124-024-09818-y>
- Ragnedda, M. (2020). New Digital Inequalities. Algorithms Divide. En M. Ragnedda (Ed.), *Enhancing Digital Equity: Connecting the Digital Underclass* (pp. 61-83). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49079-9_4
- Ramos-Galarza, C. y García-Cruz, P. (2024). Guía para realizar estudios de revisión sistemática cuantitativa. *CienciAmérica*, 13(1), 1-6. <https://doi.org/10.33210/ca.v13i1.444>
- Rendón Gil, J. G. R. y Angulo Armenta, J. (2022). Metaanálisis sobre ciudadanía digital en Iberoamérica: énfasis en educación. *EduTec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (82), 91-103. <https://doi.org/10.21556/edutec.2022.82.2593>
- Sánchez-Meca, J. (2022). Revisiones sistemáticas y meta-análisis en Educación: un tutorial. *RiiTE Revista interuniversitaria de investigación en Tecnología Educativa*, (13), 5-40. <https://doi.org/10.6018/riite.545451>
- Sánchez-Serrano, S., Pedraza-Navarro, I. y Donoso-González, M. (2022). ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA? Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 74(3), 51-66. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.95090>
- Sanusi, I. T., Oyelere, S. S., Vartiainen, H., Suhonen, J. y Tukiainen, M. (2023). A systematic review of teaching and learning machine learning in K-12 education. *Education and Information Technologies*, 28(5), 5967-5997. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11416-7>
- Saputri, A. C., Sajidan, Rinanto, Y., Afandi y Prasetyanti, N. M. (2019). Improving Students' Critical Thinking Skills in Cell-Metabolism Learning Using Stimulating Higher Order Thinking Skills Model. *International Journal of Instruction*, 12(1), 327-342. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12122a>
- Sembay, M., Luiz Pinto, A., de Macedo, D. D. J. y Moreira-González, J. A. (2020). Aplicación de la Ley de Bradford a la investigación sobre Open Government. *Anales de Documentación*, 23(1). <https://doi.org/10.6018/analesdoc.326771>

- Setiana, D. S., Purwoko, R. Y. y Sugiman, S. (2021). The Application of Mathematics Learning Model to Stimulate Mathematical Critical Thinking Skills of Senior High School Students. *European Journal of Educational Research*, 10(1), 509-523. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.1.509>
- Sheehan, M. (2018). ¿De quién es el conocimiento? El papel del conocimiento en un currículum de gran autonomía. *Arbor*, 194(788), a442. <https://doi.org/10.3989/arbor.2018.788n2002>
- Su, J. y Yang, W. (2023). Unlocking the Power of ChatGPT: A Framework for Applying Generative AI in Education. *ECNU Review of Education*, 6(3), 355-366. <https://doi.org/10.1177/20965311231168423>
- Toledo, V. (2023, abril 15). Ley de Bradford: Estrategias de revisión de grandes cantidades de bibliografía. *Campusvirtual.net*. <https://campusvirtual.net/escritos/2023/04/15/ley-de-bradford-estrategias-de-revision-de-grandes-cantidades-de-bibliografia>
- Tong, Z., An, F. y Cui, Y. (2024). Exploring teacher discourse patterns: Comparative insights from novice and expert teachers in junior high school EFL contexts. *Heliyon*, 10(16), e36435. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36435>
- Trujillo Amaya, J. F. (2024). *Seminario Taller: La argumentación como eje de la experiencia pedagógica*. Universidad Autónoma de Occidente. https://sitios.uao.edu.co/docentes/wp-content/uploads/sites/78/2024/02/la-argumentaci%C3%B3n-como-eje_compressed.pdf
- van den Berg, G. y du Plessis, E. (2023). ChatGPT and Generative AI: Possibilities for Its Contribution to Lesson Planning, Critical Thinking and Openness in Teacher Education. *Education Sciences*, 13(10), 998. <https://doi.org/10.3390/educsci13100998>
- World Bank. (2020). *Research and development expenditure (% of GDP) – Colombia*. World Development Indicators. <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?locations=CO>
- Yang, S. J., Ogata, H. y Matsui, T. (2023). Human-centered AI in Education: Augment Human Intelligence with Machine Intelligence. *Journal of Educational Technology & Society*, 26(1), 95-98. [https://doi.org/10.30191/ETS.202301_26\(1\).0007](https://doi.org/10.30191/ETS.202301_26(1).0007)
- Zajko, M. (2022). Artificial intelligence, algorithms, and social inequality: Sociological contributions to contemporary debates. *Sociology Compass*, 16(3), e12962. <https://doi.org/10.1111/soc4.12962>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M. y 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(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- Zhai, C., Wibowo, S. y Li, L. D. (2024). The effects of over-reliance on AI dialogue systems on students' cognitive abilities: a systematic review. *Smart Learning Environments*, 11(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00316-7>
- Zhang, R., Wang, Y. y Qiu, J. (2024). Validation of Bradford's Law and Source Journal Characteristics of Papers Mentioned by Twitter: Library and Information Science as Example. *Documentation, Information & Knowledge*, 41(1), 121-132. <https://doi.org/10.13366/j.dik.2024.01.121>