EDITORIAL SABERES CIENTÍFICOS

# Conocimiento *Sin Fronteras:*

## Disrupciones Científicas, Transformación Digital e Innovación para los Retos Globales del Siglo XXI



# Conocimiento Sin Fronteras:

*Disrupciones Científicas, Transformación Digital e Innovación para los Retos Globales del Siglo XXI*

**Editorial Saberes Científicos**

Copyright © 2026, Editorial Saberes Científicos
Copyright del texto © 2026 de los Autores

**Datos Técnicos de Publicación Internacional**

**Título:** "Conocimiento Sin Fronteras: Disrupciones Científicas, Transformación Digital e Innovación para los Retos Globales del Siglo XXI"
**Sello editorial:** Editorial Saberes Científicos
**Diseño de tapa, diagramación y corrección de estilo:** Editorial Saberes Científicos
**Lugar de publicación:** Ambato, Ecuador.
**Fecha de publicación:** 12 de noviembre de 2026.
**Formato:** Digital (PDF)
**Tamaño:** A4 (21x29.7cm)
**Páginas:** 386 pp.
**Requisitos de sistema:** Adobe Acrobat Reader o cualquier lector de PDF compatible.
**Modo de acceso:** World Wide Web
**ISBN:** 978-9907-9563-1-3
**DOI:** https://doi.org/10.64644/9789907956313

**Primera edición, año 2026. Editorial Saberes Científicos.**
Todos los capítulos incluidos en esta obra son producto de investigaciones desarrolladas por sus autores. Fueron arbitrados bajo el sistema doble ciego por expertos externos en el área. Los planteamientos, argumentaciones y resultados presentados en los capítulos son responsabilidad única y exclusiva de sus autores.

*"La Editorial Saberes Científicos expresa su especial agradecimiento al comité de académicos e investigadores externos que participaron en calidad de pares evaluadores, garantizando el rigor científico de los capítulos que componen esta obra colectiva."*

Esta obra se encuentra bajo la licencia **Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).** Los términos y condiciones pueden consultarse en: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es

## AUTORES


Oscar Antonio Martínez Molina

Odalys Fraga Luque

Ana Mari Pimentel Garriga

Richard Antonio Martínez Villegas

Marco Patricio Chicaiza Casa

Edwin Alfonso Simbaña Simbaña

María del Rosario Vivar Sarmiento

Cristhian Patricio Castillo Martínez

Leandro Antonio Pazmiño Ortiz

Luis Gabriel Moya Solá

Luis Ernesto Pilco Cargua

Dennis Alexander Freire Carvajal

Manuel Bladimir Cabascango Fonte

Tania de los Angeles Cevallos Camacho

Gloria Fernanda Zapata Villegas

Diego Andrés Carpio Yanchaguano

Favio Enrique Jácome Tipán

Dalton Xavier Colorado Pullas

Carlos Marcelo Molina Colcha

Néstor Caral Ramos

Willy John Chamba Soto

Diana Carolina Gallo Ricaurte

Jessica Eliana Filian Rodríguez

Marjorie Maleni Montecé Macías

Daniel Gustavo Lemos Beltrán

Miguel Francisco Alcívar Vélez

Francisco Alfredo Valle Sánchez

Wilson Eduardo Jaramillo Sangurima

Edisson Fernando Calderón Freire

Cristian David Redroban Dillon

José Enrique Crespo Amorós

Daniel Fernando Sandoya Yance

## COLABORADORES

Mag. Carmen de las Mercedes Beltran Mesias

Mag. Nelson Giovanni Alulema Pérez

Mag. Henry Robert López Núñez

Mag. Oswaldo Javier Jacome Izurieta

Mag. Jorge Francisco Abril Flores

Mag. Joselito Ricardo Naranjo Santamaria

Mag. Edison Roberto Valencia Núñez

Mag. Claudio José Hidalgo Vargas

Mag. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo

Mag. Cesar Augusto Salazar Mejia

Mag. Cesar Medardo Mayorga Abril

Mag. Héctor Alberto Luzuriaga Jaramillo

Mag. Nelson Rodrigo Lascano Aimacaña

Mag. Eulalia Beatriz Becerra García

Mag. María Fernanda Salazar Bonilla

**EDITOR/DIRECTOR EDITORIAL**

PhD. Helder Marcell Barrera Erreyes

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

**Parte I. Transformación digital, inteligencia artificial e innovación** ..... 3

**Capítulo 1:** Inteligencia artificial generativa en la evaluación de la formación docente universitaria: retos éticos e innovación ..... 4

**Capítulo 2:** Aprendizaje inteligente y tecnologías emergentes: personalización educativa y transformación pedagógica desde una revisión sistemática ..... 37

**Capítulo 3:** Competencias digitales docentes en educación continua: articulación entre inteligencia artificial y objetivos de desarrollo sostenible ..... 74

**Capítulo 4:** Inteligencia artificial en el borde para salud digital sobre redes de telecomunicaciones con conectividad limitada ..... 101

**Parte II. Educación, cognición y aprendizaje para el siglo XXI** ..... 148

**Capítulo 5:** Evaluación del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) en Ecuador: aportes significativos al sistema educativo ..... 149

**Capítulo 6:** Neuroeducación en contextos educativos: una revisión de sus aportes al aprendizaje, la emoción y la cognición ..... 166

**Parte III. Sociedad, interculturalidad y desarrollo territorial** ..... 209

**Capítulo 7:** Cuando enseñar también significa proteger: docencia y seguridad humana en territorios fragmentados ..... 210

**Capítulo 8:** Más allá de la interculturalidad declarativa: profundidad epistemológica de la incorporación del conocimiento indígena en los currículos priorizados 2025 del Ecuador ..... 230

**Capítulo 9:** El Kawsay Raymi como matriz epistémica andina: diálogo de saberes, territorialidad y respuestas comunitarias ante el cambio climático ..... 265

**Capítulo 10:** Transformación digital y turismo: patrimonio cultural y participación comunitaria en los destinos turísticos ..... 275

**Parte IV. Gestión organizacional, empresa y sostenibilidad** ..... 290

**Capítulo 11:** Sostenibilidad empresarial y capital de marca: análisis de prácticas en restaurantes de Portoviejo ..... 291

**Capítulo 12:** Diagnóstico de la cultura organizacional y brechas culturales en colaboradores de TIA S.A. ..... 305

**Parte V. Ciencia, ingeniería e innovación tecnológica** ..... 319

**Capítulo 13:** Priorización de auditorías en proyectos públicos de infraestructura mediante AHP–TOPSIS: aplicación en el sur del Ecuador ..... 320

**Capítulo 14:** Caracterización morfológica automatizada de gránulos de almidón de yuca mediante procesamiento digital de imágenes SEM y herramientas de código abierto ..... 335

**Parte VI. Ética, gobernanza y retos globales de la tecnología** ..... 357

**Capítulo 15:** Discriminación algorítmica y vulneración del principio de igualdad: riesgo para colectivos vulnerables ..... 358

# INTRODUCCIÓN

*Conocimiento Sin Fronteras: Disrupciones Científicas, Transformación Digital e Innovación para los Retos Globales del Siglo XXI* congrega quince contribuciones de investigación empírica y de revisión sistemática e integrativa, elaboradas por treinta y dos autores adscritos a universidades, institutos de educación superior, instituciones educativas y organismos públicos de Ecuador y de otros países iberoamericanos. La obra se sustenta en una premisa epistemológica compartida: los fenómenos que configuran la contemporaneidad —la irrupción de la inteligencia artificial, la reconfiguración de los procesos educativos, la sostenibilidad territorial y organizacional, así como la gobernanza ética de la tecnología— trascienden las fronteras disciplinares y geográficas, por lo que su comprensión exige abordajes interdisciplinarios y un diálogo riguroso entre diversos campos del conocimiento.

La primera parte, Transformación digital, inteligencia artificial e innovación, examina la incidencia de las tecnologías emergentes en la enseñanza y en la prestación de servicios. Sus capítulos analizan los desafíos éticos que plantea la inteligencia artificial generativa en la evaluación de la formación docente universitaria; las posibilidades de personalización educativa asociadas al aprendizaje inteligente y a las tecnologías emergentes; la articulación entre las competencias digitales docentes, la inteligencia artificial y los Objetivos de Desarrollo Sostenible; y el potencial de la inteligencia artificial en el borde para la provisión de servicios de salud digital en contextos de conectividad limitada.

La segunda parte, Educación, cognición y aprendizaje para el siglo XXI, centra su atención en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Comprende una evaluación de la implementación del Diseño Universal para el Aprendizaje en el sistema educativo ecuatoriano y una revisión de las contribuciones de la neuroeducación a la comprensión de las relaciones entre aprendizaje, emoción y cognición.

La tercera parte, Sociedad, interculturalidad y desarrollo territorial, sitúa la producción de conocimiento en sus contextos sociales, culturales y territoriales. En ella se abordan la docencia como práctica de protección en territorios afectados por la violencia, la profundidad epistemológica con que los currículos priorizados de 2025 incorporan el conocimiento indígena, el Kawsay Raymi como matriz epistémica andina frente al cambio climático y la relación entre transformación digital, patrimonio cultural y participación comunitaria en los destinos turísticos.

La cuarta parte, Gestión organizacional, empresa y sostenibilidad, desplaza el análisis hacia el ámbito organizacional mediante el estudio de la relación entre las prácticas sostenibles y el capital de marca en el sector de la restauración de Portoviejo, así como del diagnóstico de la cultura organizacional y de sus brechas en una empresa ecuatoriana del sector comercial. La quinta parte, Ciencia, ingeniería e innovación tecnológica, propone un modelo multicriterio AHP–TOPSIS para la priorización de auditorías en proyectos públicos de infraestructura y un procedimiento automatizado, sustentado en herramientas de código abierto, para la caracterización morfológica de gránulos de almidón de yuca a partir de imágenes de microscopía electrónica de barrido. Por último, la sexta parte, Ética, gobernanza y retos globales de la tecnología, concluye la obra con un análisis de la discriminación algorítmica y de sus implicaciones para el principio de igualdad y la protección de los colectivos vulnerables.

La totalidad de los capítulos fue sometida a un proceso de evaluación por pares académicos bajo la modalidad de doble ciego, como garantía de su calidad científica. Más allá de la heterogeneidad de sus objetos de estudio y de sus enfoques metodológicos, las contribuciones convergen en un propósito común: que el conocimiento científico contribuya a una comprensión más profunda de los problemas de nuestras sociedades y oriente la toma de decisiones informadas, éticas y sostenibles. La Editorial Saberes Científicos reconoce el rigor de los autores y la valiosa labor de los evaluadores, y confía en que esta obra constituya un referente de consulta para investigadores, docentes, estudiantes y responsables de la formulación de políticas públicas, así como un estímulo para nuevas líneas de investigación y colaboración académica.

# Parte I.

*Transformación digital, inteligencia artificial e innovación.*

CAPÍTULO 1

# Inteligencia artificial generativa en la evaluación de la formación docente universitaria: retos éticos e innovación

*Generative artificial intelligence in university teacher education assessment: ethical challenges and innovation*

1 **Oscar Antonio Martínez Molina**
*Doctor en Educación*
Universidad Nacional de Educación, Ecuador
oscar.martinez@unae.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-1123-5553

2 **Odalys Fraga Luque**
*Doctora en Ciencias Pedagógicas*
Universidad Nacional de Educación, Ecuador
ofragaluque@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-4657-8276

3 **Ana Mari Pimentel Garriga**
*Magíster en Ciencias de la Educación*
Universidad Nacional de Educación, Ecuador
apimentelgarriga@yahoo.es
https://orcid.org/0000-0003-4368-4863

4 **Richard Antonio Martínez Villegas**
*Magíster en Pedagogía con mención en Docencia e Innovación Educativa*
Instituto Superior Tecnológico Particular Sudamericano, Ecuador
rimartinez@sudamericano.edu.ec
https://orcid.org/0000-0001-6655-9972

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_1 RECIBIDO 05/08/2026 | ACEPTADO 16/10/2026

## RESUMEN

La inteligencia artificial generativa (IAG) ha cambiado con rapidez la manera de escribir, retroalimentar y evaluar en la educación superior. Este avance abre posibilidades valiosas, aunque también plantea dudas sobre autoría, privacidad, sesgos y autonomía profesional. El capítulo analiza la evidencia reciente sobre su uso en la evaluación de la formación docente universitaria, con especial atención a América Latina. Se realizó una revisión integrativa de 21 documentos (17 artículos revisados por pares y cuatro marcos o informes institucionales) publicados entre 2023 y 2026, localizados en ERIC, SciELO, Redalyc y DOAJ, además de portales editoriales y rastreo de referencias. La síntesis temática permitió reconocer cinco núcleos: transformación evaluativa, retroalimentación formativa, competencias docentes, integridad académica y gobernanza institucional. Los resultados muestran beneficios para diseñar instrumentos, mejorar la oportunidad de los comentarios y favorecer la reflexión sobre el desempeño; sin embargo, la utilidad pedagógica disminuye cuando la tecnología reemplaza el razonamiento, oculta la participación del autor o interviene en decisiones sin control profesional. A partir de esta evidencia se formula el marco CUIDA, una propuesta teórica que reúne criterio pedagógico, uso transparente, integridad académica, datos protegidos y agencia humana, cuya validez y eficacia deberán comprobarse empíricamente. El capítulo concluye con recomendaciones para las instituciones y líneas de investigación futura.

**Palabras clave:** inteligencia artificial generativa, evaluación educativa, formación docente, ética digital, educación superior

**ABSTRACT**

Generative artificial intelligence (GenAI) has rapidly changed writing, feedback, and assessment practices in higher education. These developments create valuable opportunities, but they also raise concerns about authorship, privacy, bias, and professional autonomy. This chapter examines recent evidence on the use of GenAI in university teacher education assessment, with particular attention to Latin America. An integrative review covered 21 documents (17 peer-reviewed articles and four institutional frameworks or reports) published between 2023 and 2026, identified through ERIC, SciELO, Redalyc, DOAJ, publishers' portals, and reference tracking. Thematic synthesis revealed five areas: assessment transformation, formative feedback, teacher competencies, academic integrity, and institutional governance. The evidence suggests that GenAI may support assessment design, provide more timely feedback, and encourage reflection on performance. Its educational value declines, however, when it replaces reasoning, conceals authorship, or influences decisions without professional oversight. Based on this evidence, the chapter proposes the CUIDA framework, a theoretical proposal that brings together pedagogical judgement, transparent use, academic integrity, data protection, and human agency; its validity and effectiveness remain to be tested empirically. These principles are particularly relevant in institutions with unequal access, limited infrastructure, and diverse cultural and linguistic contexts. The chapter closes with recommendations for institutions and directions for future research.

**Keywords:** generative artificial intelligence, educational assessment, teacher education, digital ethics, higher education

## 1. Introducción

Los sistemas de inteligencia artificial generativa (IAG) capaces de producir textos, imágenes, códigos y respuestas complejas en pocos segundos modificaron prácticas universitarias que parecían estables. Los datos recientes de adopción permiten dimensionar el cambio. En una encuesta del Digital Education Council (2024) a más de 3800 estudiantes de 16 países, el 86 % declaró usar inteligencia artificial en sus estudios y el 54 % lo hacía cada semana. En el Reino Unido, el 94 % de los estudiantes de pregrado encuestados empleó IAG en trabajos evaluados y el 12 % incorporó texto generado de forma directa, frente al 3 % registrado en 2024 (Stephenson & Armstrong, 2026).

Estas cifras proceden de encuestas de autorreporte y no informan por sí solas sobre la calidad del aprendizaje, pero muestran que la IAG ya forma parte de la vida académica. En el campo de la evaluación, el cambio resulta evidente: una tarea escrita ya no prueba por sí sola que el estudiante comprendió el tema, tomó decisiones y construyó un argumento propio. Por esa razón, la discusión no puede reducirse a permitir o prohibir la IAG. La cuestión central consiste en definir qué aprendizaje se espera, qué apoyo tecnológico resulta legítimo y qué evidencias permiten reconocer la intervención intelectual de cada persona (Weng et al., 2024; Xia et al., 2024).

En un primer momento, muchas instituciones respondieron con advertencias, prohibiciones y programas de detección. Esa reacción era comprensible, aunque pronto mostró límites técnicos y pedagógicos, porque puso el énfasis en controlar el producto y no en comprender el proceso. Luo (2024) señala que varias políticas universitarias tratan la inteligencia artificial como un problema individual de originalidad, pese a que el reto también afecta el diseño de las tareas, la

alfabetización institucional y el acompañamiento docente. Por ello, la evaluación requiere normas explícitas y actividades que obliguen a interpretar, contrastar, decidir y defender el trabajo presentado.

Este debate tiene un peso especial en la formación docente. Quien se prepara para enseñar necesita dominar contenidos, pero también observar desempeños, ofrecer retroalimentación, justificar decisiones y responder ante la diversidad. Una incorporación sin orientación puede reducir el trabajo intelectual a la aceptación de respuestas verosímiles. En cambio, la IAG puede aportar cuando funciona como objeto de análisis, apoyo provisional o contraparte crítica. Bajo esas condiciones, abre espacios para ensayar, revisar y reflexionar sobre la práctica profesional, sin desplazar el criterio pedagógico de quien aprende ni de quien evalúa (Muñoz-Sepúlveda et al., 2026; Ossa & Willatt, 2023).

La dimensión ética atraviesa toda esta discusión. Los modelos generativos procesan grandes volúmenes de datos, pero sus respuestas no garantizan exactitud, neutralidad ni pertinencia cultural. Asimismo, cargar trabajos estudiantiles, casos escolares o información sensible en plataformas comerciales puede comprometer la privacidad y la propiedad intelectual. UNESCO (2023) propone una orientación centrada en las personas. De forma complementaria, su marco de competencias docentes reúne agencia humana, ética, fundamentos de inteligencia artificial, pedagogía y aprendizaje profesional como dimensiones que deben avanzar de manera articulada (UNESCO, 2024).

En América Latina, el problema adquiere matices propios. La región concentra el 14 % de las visitas mundiales a soluciones de inteligencia artificial, frente al 11 % de los usuarios de internet, pero recibe solo el 1,12 % de la inversión global en este campo, aunque representa el 6,6 % del producto interno bruto mundial (CEPAL, 2025). A esa asimetría se suman desigualdades en conectividad, licencias, dominio lingüístico y soporte institucional, que determinan quién utiliza herramientas avanzadas y quién recibe formación oportuna. Betti Galasso (2026) advierte que las competencias emergentes deben comprenderse como prácticas situadas, de modo que la justicia epistémica y la pertinencia cultural son condiciones para una integración legítima.

La producción reciente aporta resultados útiles, pero dispersos: revisiones sobre inteligencia artificial en educación superior, análisis de políticas, escalas para declarar su uso, experiencias de retroalimentación y programas de capacitación docente. Bond et al. (2024) reclaman mayor rigor, colaboración y sensibilidad ética en este campo, y Qian (2025) identifica una tensión persistente entre la eficiencia de estas herramientas y el riesgo de trasladar fuera del estudiante habilidades que debería desarrollar.

Falta, entonces, una síntesis que articule las posibilidades técnicas de la IAG con los principios de una evaluación formativa, válida y responsable en la formación profesional del profesorado. La rapidez de la automatización no garantiza calidad, y una calificación aparentemente precisa puede resultar injusta cuando el sistema desconoce la lengua, el contexto o las condiciones reales en las que se produjo el trabajo.

El aporte original de este capítulo es el marco CUIDA, una propuesta teórica de cinco dimensiones (criterio pedagógico, uso transparente, integridad académica, datos protegidos y agencia humana) derivada de la comparación crítica de las categorías documentales de la revisión. No procede de una intervención ni de una validación empírica, y su eficacia deberá comprobarse en investigaciones posteriores.

El vacío al que responde es de articulación. Las escalas de niveles de uso (Perkins et al., 2024), los marcos de competencias docentes (UNESCO, 2024) y los marcos de política institucional (Chan, 2023) abordan partes del problema, pero en el corpus revisado no se identificó un instrumento que reúna esas exigencias para diseñar y examinar evaluaciones concretas en la formación docente universitaria. CUIDA propone una matriz de revisión previa a la aplicación de la tarea, con preguntas de diseño, evidencias esperadas y señales de alerta, y presta atención a contextos con desigualdades de acceso y diversidad cultural.

Con base en este panorama, el capítulo tiene como objetivo analizar de manera crítica la evidencia científica y orientadora sobre el uso de la IAG en la evaluación de la formación docente universitaria, con atención a sus aportes pedagógicos, riesgos éticos y posibilidades de innovación en América Latina. La revisión responde a una pregunta central: ¿qué condiciones pedagógicas, éticas e institucionales permiten incorporar la IAG en la evaluación de futuros docentes sin debilitar la autoría, el aprendizaje verificable ni la responsabilidad profesional?

El capítulo se organiza en cinco apartados. Después de esta introducción, la sección 2 describe la metodología; la sección 3 presenta la síntesis por núcleos temáticos; la sección 4 discute las convergencias, el contraste entre la evidencia favorable y la crítica, el marco CUIDA y sus implicaciones institucionales; y la sección 5 reúne las conclusiones, las recomendaciones y las líneas futuras.

## 2. Metodología de la revisión

El estudio se desarrolló como una revisión integrativa, modalidad que permite reunir investigaciones empíricas, revisiones y documentos orientadores mediante procedimientos explícitos de búsqueda, valoración y síntesis (Whittemore & Knafl, 2005). Esta elección se ajustó al carácter reciente y multidimensional del problema, en el cual convergen evaluación, formación docente, ética y gobernanza.

A diferencia de una revisión narrativa abierta, el proceso definió criterios de elegibilidad, una matriz de valoración, un registro de extracción y una síntesis temática que permite seguir el recorrido desde las fuentes hasta las interpretaciones. Para documentar el procedimiento se tomó como guía de reporte la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2021), con las adaptaciones que exige un diseño integrativo. Las limitaciones de registro que subsisten se declaran en los apartados 2.6, 2.7 y 4.5.

La unidad de análisis estuvo formada por documentos académicos y técnicos que abordaron de manera sustantiva la IAG en educación superior, evaluación o formación docente. El periodo cubrió

desde enero de 2023 hasta el 27 de julio de 2026, fecha fijada como cierre documental. Este recorte respondió a un cambio histórico concreto: la difusión pública de ChatGPT a finales de 2022 abrió una etapa distinta en la producción científica. Así, la revisión se concentró en modelos generativos contemporáneos y excluyó literatura previa sobre inteligencia artificial educativa que no examinaba sus capacidades actuales.

## 2.1. Estrategia de búsqueda

La búsqueda documental cerró el 27 de julio de 2026. Se emplearon descriptores en español e inglés, combinados con los operadores AND y OR. En español, las cadenas reunieron los términos "inteligencia artificial generativa", "IA generativa" y ChatGPT con "evaluación", "retroalimentación", "integridad académica", "formación docente" y "educación superior". Para la búsqueda en inglés se usaron generative artificial intelligence, generative AI, assessment, feedback, academic integrity, teacher education y higher education. Esta selección respondió de forma directa a la pregunta y al objetivo del capítulo.

Cada ecuación se ajustó a la sintaxis y a las opciones de filtrado de la fuente correspondiente. Además, se revisaron las referencias de los trabajos más pertinentes y las publicaciones posteriores que los citaron. Esta doble ruta permitió localizar experiencias latinoamericanas que no siempre aparecen en los primeros resultados de las bases internacionales. Los términos relacionados con educación básica solo se admitieron cuando el documento examinó competencias docentes con aplicación posible en la educación superior. De este modo, la amplitud de la búsqueda no debilitó la coherencia temática del corpus.

Para asegurar reproducibilidad, la ficha de búsqueda debe conservar, por cada fuente, la ecuación literal ejecutada, la fecha, el intervalo temporal, los filtros aplicados y el número de registros recuperados. En la documentación disponible se conservan descriptores, fuentes, fecha de cierre y corpus definitivo, pero no las consultas exportadas ni los conteos iniciales desagregados. En consecuencia, estos datos no se atribuyen retrospectivamente a búsquedas que no pueden auditarse; su reconstrucción exige recuperar el historial original de las plataformas (véase el apartado 2.6).

## 2.2. Bases de datos consultadas

La consulta incluyó ERIC, SciELO, Redalyc y DOAJ. También se revisaron los portales de revistas y editoriales para confirmar la versión de registro, los datos bibliográficos y el DOI. La combinación de fuentes internacionales e iberoamericanas buscó evitar una lectura concentrada exclusivamente en el Norte global. A este conjunto se sumaron documentos de la UNESCO y de la OCDE, debido a su aporte sobre agencia humana, privacidad, competencias docentes y gobernanza educativa. Su inclusión tuvo una función orientadora y se distinguió de la evidencia empírica.

El corpus temático reunió 21 documentos: 17 artículos científicos sometidos a revisión por pares y cuatro informes o marcos institucionales. Todas las publicaciones se sitúan entre 2023 y 2026, por lo que los artículos representan cerca del 81 % del conjunto. Las referencias

metodológicas utilizadas para organizar el diseño y la síntesis se registraron por separado y no forman parte del conteo del corpus. Esta diferenciación permitió mantener trazabilidad entre la evidencia analizada, los documentos orientadores y las fuentes empleadas exclusivamente para sustentar el método.

Además del corpus, el capítulo emplea literatura complementaria. Para responder a las observaciones de la revisión por pares y contrastar los hallazgos, la introducción y las secciones 3.4, 3.5 y 4 incorporan encuestas de adopción, estudios latinoamericanos recientes, comunicados institucionales, una norma y trabajos sobre sesgos, dependencia y validación de contenido.

Estas fuentes se identificaron de manera dirigida durante la revisión posterior a la evaluación por pares, no pasaron por la matriz de valoración, no forman parte de los 21 documentos ni de la síntesis temática, y se señalan expresamente como literatura complementaria cada vez que se emplean. Page et al. (2021) y Malterud et al. (2016) se suman a las referencias metodológicas registradas por separado y tampoco integran el corpus.

### 2.3. Criterios de inclusión

Se admitieron estudios en español o inglés con texto completo, o con información metodológica suficiente para valorar su aporte. Los documentos debían examinar usos evaluativos de la IAG, cambios en la retroalimentación, integridad académica, competencias docentes o políticas universitarias. También se incluyeron revisiones con procedimientos explícitos y documentos institucionales de alcance internacional. La pertinencia latinoamericana se estableció a partir de la población, la afiliación, el contexto de aplicación o una discusión específica sobre desigualdad, cultura, regulación y formación del profesorado en la región.

### 2.4. Criterios de exclusión

Se descartaron duplicados, noticias, entradas de blogs, materiales promocionales, documentos sin autoría identificable y publicaciones que solo mencionaban la inteligencia artificial de manera incidental. También quedaron fuera los estudios centrados en predicción administrativa, reconocimiento facial o analítica institucional sin relación con la evaluación del aprendizaje. Los preprints sirvieron únicamente para localizar versiones publicadas. Cuando no se encontró una versión sometida a revisión por pares, el texto no se incorporó al corpus.

### 2.5. Procedimiento de selección y análisis

La selección avanzó en tres momentos: lectura de títulos y resúmenes, revisión del texto completo y valoración de la calidad. En la depuración se aplicaron los criterios de exclusión definidos previamente, con atención específica a duplicados, materiales no académicos, documentos sin autoría identificable, menciones incidentales y trabajos sin relación sustantiva con la evaluación del aprendizaje o la formación docente.

La valoración final consideró cuatro criterios: pertinencia para la pregunta, claridad metodológica, trazabilidad de los hallazgos y calidad de la fuente. Se aplicó una matriz ad hoc con

valores de cero a dos por criterio y un mínimo de seis puntos sobre ocho. La puntuación no buscó comparar diseños diferentes, sino excluir documentos con información insuficiente o sin un aporte claramente distinguible.

La matriz de extracción registró autoría, año, país o alcance, tipo de estudio, población, uso de IAG, modalidad evaluativa, beneficios, riesgos, recomendaciones y limitaciones. Luego se aplicó una síntesis temática de orientación crítica, con procesos de codificación, agrupación y revisión de categorías (Braun & Clarke, 2021). Los códigos se reunieron en cinco núcleos: transformación de la evaluación, retroalimentación formativa, competencias docentes, integridad académica y gobernanza institucional. El análisis buscó coincidencias, diferencias y vacíos. La cantidad de menciones no se interpretó como prueba de efectividad.

La revisión no estima un efecto agregado, ya que los estudios presentan poblaciones, herramientas, diseños y resultados muy diversos. Su propósito consiste en integrar conocimiento útil para el diseño de evaluaciones y para la formación del profesorado. Esta delimitación evita atribuir relaciones causales a experiencias exploratorias. También permite separar con claridad los resultados empíricos, las orientaciones institucionales y las propuestas conceptuales que aparecen en el corpus (véase la Tabla 1).

**Tabla 1**

*Decisiones metodológicas de la revisión integrativa*

| Componente | Decisión metodológica | Aplicación en la revisión | Garantía de rigor |
|---|---|---|---|
| Diseño | Revisión integrativa | Artículos empíricos, revisiones y documentos institucionales | Procedimiento explícito y síntesis trazable |
| Alcance temporal | Enero de 2023 a 27 de julio de 2026 | Cobertura del periodo de expansión pública de la IAG | Actualidad y delimitación justificadas |
| Fuentes | ERIC, SciELO, Redalyc, DOAJ y portales editoriales | Búsqueda bilingüe y rastreo de referencias | Cobertura internacional e iberoamericana |
| Elegibilidad | Pertinencia, claridad, trazabilidad y calidad de la fuente | Matriz ad hoc de 0 a 2 por criterio; umbral de 6/8 | Exclusión de documentos insuficientes o incidentales |
| Corpus | 21 documentos | 17 artículos y 4 marcos o informes institucionales | Predominio de evidencia revisada por pares |
| Reporte | PRISMA 2020 como guía adaptada (Page et al., 2021) | Fases documentadas en la Tabla 2 y la Figura 1 | Transparencia sobre lo registrado y lo no conservado |
| Análisis | Síntesis temática crítica | Cinco núcleos analíticos y contraste de convergencias | Diferenciación entre evidencia, orientación y propuesta |
| Literatura complementaria | Fuentes adicionales fuera del corpus | Contraste en las secciones 3 y 4, con rótulo expreso | Separación respecto de la síntesis del corpus |

*Nota.* IAG = inteligencia artificial generativa; PRISMA = Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. Elaboración propia a partir del protocolo de revisión.

## 2.6. Trazabilidad de la selección documental

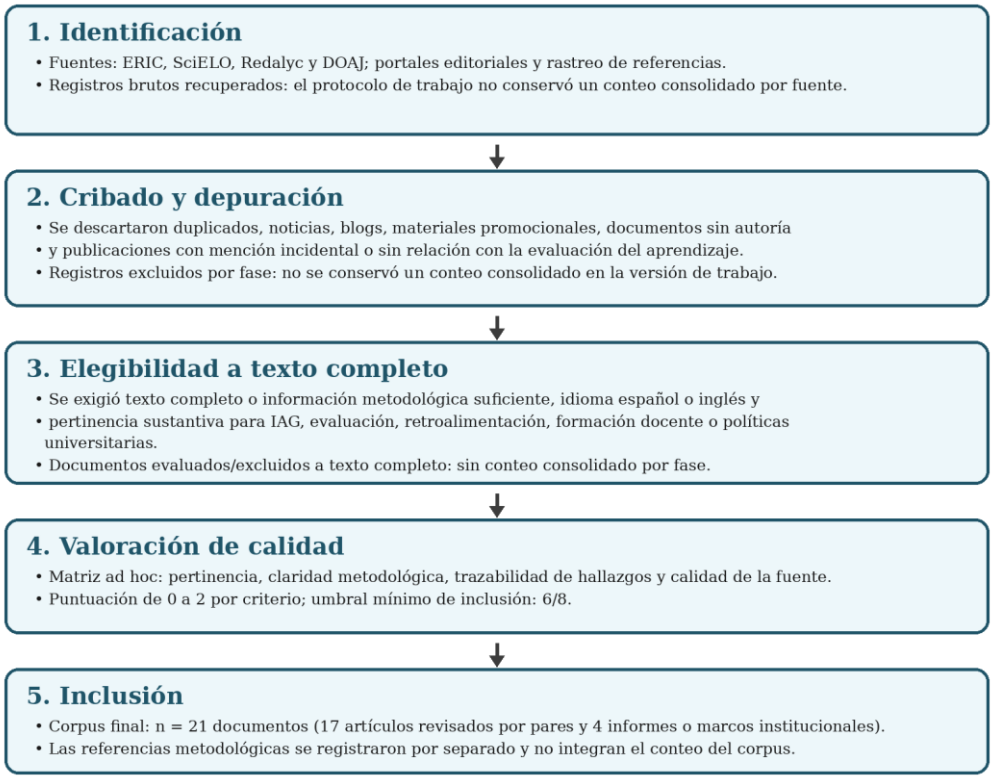
La trazabilidad del corpus se organizó mediante un esquema equivalente a un flujo PRISMA, adaptado al carácter integrativo de la revisión (Page et al., 2021). El proceso distingue identificación, cribado y depuración, elegibilidad a texto completo, valoración de calidad e inclusión. Los motivos de exclusión se derivan de los criterios definidos en los apartados 2.3 y 2.4, y la decisión final se apoya en la matriz de calidad descrita en el apartado 2.5.

Los pares evaluadores solicitaron consignar el número de documentos recuperados en cada base, los excluidos por duplicidad, los descartados tras la lectura de títulos y resúmenes y los excluidos en texto completo, con sus motivos. La documentación conservada permite reportar la composición final del corpus y los criterios aplicados en cada fase, pero no los conteos intermedios, porque no se preservaron las consultas exportadas ni los totales desagregados por base y etapa. Por rigor metodológico, estas cifras no se reconstruyen de memoria ni se estiman de forma retrospectiva.

La Tabla 2 muestra, fase por fase, el procedimiento aplicado, los motivos de exclusión documentados y el estado del registro numérico. La Figura 1 representa esas fases y reporta únicamente el dato cuantitativo verificable de inclusión: 21 documentos.

**Figura 1**

*Esquema de selección documental y conformación del corpus*




*Nota.* El único conteo cuantitativo conservado de manera verificable corresponde al corpus final (n = 21). Elaboración propia a partir del protocolo de revisión.

**Tabla 2**

*Fases de la selección documental, motivos de exclusión y registro disponible*

| Fase | Procedimiento aplicado | Motivos de exclusión documentados | Registro numérico |
|---|---|---|---|
| Identificación | Búsqueda bilingüe en ERIC, SciELO, Redalyc y DOAJ; revisión de portales editoriales; rastreo de referencias y de citas posteriores (apartados 2.1 y 2.2) | No aplica | No conservado por base |
| Duplicados | Eliminación de registros repetidos entre bases y rutas de localización (apartado 2.4) | Duplicidad | No conservado |
| Cribado de títulos y resúmenes | Lectura con los criterios de inclusión y exclusión (apartados 2.3 y 2.4) | Noticias, entradas de blogs, materiales promocionales, documentos sin autoría identificable, menciones incidentales de la inteligencia artificial, predicción administrativa, reconocimiento facial o analítica institucional sin relación con la evaluación del aprendizaje | No conservado |
| Elegibilidad a texto completo | Revisión del texto completo o de información metodológica suficiente (apartado 2.3) | Preprints sin versión publicada revisada por pares; ausencia de relación sustantiva con la evaluación del aprendizaje o la formación docente | No conservado |
| Valoración de calidad | Matriz ad hoc de cuatro criterios, de 0 a 2 puntos, con mínimo de 6 sobre 8 (apartado 2.5) | Información insuficiente o sin aporte claramente distinguible | No conservado |
| Inclusión | Corpus final: 17 artículos revisados por pares y 4 marcos o informes institucionales | No aplica | 21 documentos |

*Nota.* "No conservado" indica que el dato no pudo recuperarse de la documentación disponible y no se estima de forma retrospectiva. La asignación de cada motivo a una fase sigue el orden lógico de los apartados 2.3 a 2.5 y no procede de un registro por fase. Elaboración propia a partir del protocolo de revisión.

La trazabilidad horizontal de la revisión se establece del siguiente modo: la pregunta y el objetivo determinan los criterios de elegibilidad; la extracción sistemática permite reconocer cinco núcleos; la comparación de beneficios, riesgos y condiciones institucionales sustenta la discusión; y esa interpretación conduce a los componentes conceptuales de CUIDA (véanse la Figura 3 y la Tabla 5). Por tanto, el modelo sintetiza la evidencia y no debe confundirse con un resultado experimental.

## 2.7. Suficiencia del corpus y saturación temática

La suficiencia de los 21 documentos se interpreta como adecuación temática al objetivo y a los cinco núcleos de síntesis, no como representatividad estadística de la producción mundial. En las revisiones documentales, la saturación temática suele entenderse como el punto en que nuevos documentos dejan de aportar categorías distintas a las ya codificadas. Este capítulo no puede

afirmar saturación formal, porque no se conservaron los registros de las iteraciones de codificación que permitirían demostrarla.

Como criterio alternativo se recurre, por analogía, al concepto de poder de información (Malterud et al., 2016).

Según este concepto, se necesita menos material cuando es específico para el propósito del estudio, se apoya en teoría establecida, ofrece información de calidad y se analiza con una estrategia focalizada. En este caso, el objetivo es acotado, todos los documentos tratan de manera sustantiva alguno de los cinco núcleos, el análisis se apoya en marcos reconocidos como el de competencias de la UNESCO (2024) y una matriz de valoración fijó un umbral de calidad. El concepto procede de la investigación cualitativa con participantes, por lo que se aplica aquí como orientación y no como prueba.

La muestra responde a la pregunta de investigación en distinto grado según el núcleo (véase la Tabla 5). Los núcleos de transformación evaluativa (seis documentos), competencias docentes (cinco), integridad académica (tres) y gobernanza institucional (dos) cubren las dimensiones pedagógica, ética e institucional de la pregunta, aunque con una base desigual. La retroalimentación formativa descansa en dos estudios sobre formación inicial docente, y tres documentos son transversales. Esa distribución obliga a formular las conclusiones con prudencia.

El tamaño del corpus también puede introducir sesgos. Con pocos documentos por núcleo, la ausencia de perspectivas discrepantes no prueba su inexistencia, y la selección por pertinencia y claridad pudo favorecer trabajos con resultados alentadores. Para atenuar este riesgo, la discusión contrasta los hallazgos con literatura complementaria de carácter crítico, claramente señalada, y las conclusiones se formulan como síntesis argumentativa y no como generalización de eficacia.

## 3. Desarrollo de la revisión

La síntesis se organiza en cinco núcleos: transformación de la evaluación, retroalimentación formativa, competencias docentes, integridad académica y gobernanza institucional. El contexto latinoamericano aparece como una dimensión transversal, porque condiciona el acceso, la pertinencia cultural y la capacidad de respuesta de cada institución. El último apartado reúne los vacíos de investigación identificados y prepara el paso hacia la discusión. Esta organización permite leer los hallazgos como partes de un mismo problema, sin perder las particularidades de cada tema.

La Tabla 3 resume el país o ámbito, el diseño, el núcleo principal, el aporte y el riesgo señalado en cada uno de los 21 documentos del corpus, de modo que el lector pueda ubicar cada fuente antes de seguir su análisis.

La procedencia es desigual. Cinco de los 17 artículos se centran en contextos latinoamericanos (dos de Chile, dos de Ecuador y uno de Brasil con alcance regional); cinco se vinculan con instituciones de Hong Kong, algunos en colaboración con equipos de China continental, Singapur o Taiwán; dos con Australia y Vietnam; dos con Estados Unidos; uno con Finlandia; uno con España y México; y uno con equipos de Australia, Reino Unido, Noruega y Suecia.

Los cuatro documentos restantes son marcos o informes de la UNESCO y de la OCDE. Predominan, por tanto, las revisiones, los análisis de políticas y los estudios exploratorios, como se examina en el apartado 3.7.

**Tabla 3**

*Corpus de la revisión: procedencia, diseño, núcleo, aporte y riesgo por documento*

| Fuente | País o ámbito | Diseño o tipo | Núcleo principal | Aporte principal | Riesgo o limitación señalado |
|---|---|---|---|---|---|
| Betti Galasso (2026) | Brasil (alcance latinoamericano) | Revisión de alcance | Competencias docentes | Competencias situadas y justicia epistémica | Desigualdad y modelos importados |
| Bond et al. (2024) | Australia, Reino Unido, Noruega y Suecia | Metarrevisión sistemática | Transversal | Reclama mayor ética, colaboración y rigor en el campo | Rigor y sensibilidad ética insuficientes |
| Celik (2023) | Finlandia | Estudio empírico con docentes | Competencias docentes | Incorpora la ética al conocimiento profesional docente (TPACK inteligente) | Adopción guiada por la novedad, sin juicio profesional |
| Chan (2023) | Hong Kong (China) | Marco de política institucional | Gobernanza institucional | Articula dimensiones pedagógicas, éticas y operativas | Orientaciones generales insuficientes para usos por asignatura |
| Furze et al. (2024) | Australia, Singapur y Vietnam | Implementación piloto de la AIAS | Transformación evaluativa | Una política comprensible reduce dudas y promueve el rediseño de tareas | La escala no reemplaza el análisis pedagógico |
| Gallent-Torres et al. (2023) | España y México | Análisis desde la ética y la integridad académica | Integridad académica | La IAG amplía problemas de plagio, autoría y veracidad | Presentar como propio un razonamiento no comprendido |
| Liang et al. (2023) | Estados Unidos | Evaluación de detectores de texto | Integridad académica | Evidencia de sesgo contra escritores no nativos de inglés | Falsos positivos en decisiones de integridad |
| López-Vasco et al. (2025) | Ecuador y Venezuela | Cuasiexperimento con 299 docentes | Competencias docentes | Mejora técnica y actitudinal tras 80 horas de formación | Persisten dudas sobre originalidad |
| Luo (2024) | Hong Kong (China) | Revisión crítica de políticas universitarias | Transformación evaluativa | Cuestiona una noción estrecha de originalidad | Enfoque punitivo y vigilancia |
| Méndez Méndez et al. (2025) | Ecuador | Intervención formativa preexperimental en Cuenca | Competencias docentes | Avances en dimensiones TPACK tras la formación | Diseño sin comparación ni seguimiento |
| Moorhouse et al. (2023) | Hong Kong y Singapur | Análisis de directrices de universidades de alto ranking | Transformación evaluativa | Muestra orientaciones muy diversas entre universidades | Diferencias en claridad, alcance y responsabilidades |

| Fuente | País o ámbito | Diseño o tipo | Núcleo principal | Aporte principal | Riesgo o limitación señalado |
|---|---|---|---|---|---|
| Muñoz-Sepúlveda et al. (2026) | Chile | Sistematización con simulación y videoanálisis | Retroalimentación formativa | Retroalimentación basada en desempeño | Dependencia de infraestructura y diseño |
| OECD (2023) | Organismo internacional | Informe internacional | Gobernanza institucional | Destaca la necesidad de reglas flexibles ante una tecnología cambiante | Rigidez normativa ante el cambio rápido |
| OECD (2026) | Organismo internacional | Síntesis internacional de evidencia | Transversal | La IAG apoya cuando existe intención pedagógica | Mejora del desempeño sin aprendizaje real |
| Ossa y Willatt (2023) | Chile | 347 estudiantes y 578 respuestas a casos | Retroalimentación formativa | Retroalimentación descriptiva a escala con validación docente | Imprecisiones que requieren revisión |
| Perkins et al. (2024) | Vietnam y Australia | Marco de cinco niveles de uso (AIAS) | Transformación evaluativa | Clarifica grados de integración de la IAG | Aplicación mecánica sin alineación curricular |
| Qian (2025) | Estados Unidos | Revisión sistemática | Transversal | Identifica la tensión entre eficiencia y riesgo para el aprendizaje | Traslado fuera del estudiante de habilidades que debe desarrollar |
| UNESCO (2023) | Organismo internacional | Orientación internacional | Integridad académica | Orientación centrada en las personas, con límites de edad, protección de datos y validación pedagógica | Privacidad y sesgos |
| UNESCO (2024) | Organismo internacional | Marco de competencias docentes | Competencias docentes | Agencia humana, ética y pedagogía | Reducción de la formación a habilidades técnicas |
| Weng et al. (2024) | Hong Kong y Singapur | Revisión de alcance sobre evaluación y resultados | Transformación evaluativa | Mayor aprendizaje cuando la IAG amplía la construcción de conocimiento | Externalización del esfuerzo cognitivo |
| Xia et al. (2024) | China, Hong Kong y Taiwán | Revisión de alcance de 32 estudios | Transformación evaluativa | Transformación en los niveles del estudiante, el docente y la institución | Respuestas parciales y políticas fragmentadas |

*Nota.* País o ámbito según la afiliación institucional de la autoría registrada en Crossref y OpenAlex; en autorías con varias afiliaciones se indican los países registrados. El núcleo principal es una asignación reconstruida a partir del contenido de cada documento. AIAS = Artificial Intelligence Assessment Scale; TPACK = conocimiento tecnológico, pedagógico y disciplinar; IAG = inteligencia artificial generativa. Elaboración propia.

## 3.1. Transformación de la evaluación universitaria

La evidencia revisada coincide en un punto: la IAG no es solo una herramienta adicional, pues también cuestiona la validez de numerosas evaluaciones tradicionales. Cuando un sistema redacta ensayos, resuelve ejercicios o produce argumentos plausibles, las tareas centradas en repetir información pierden capacidad para distinguir entre desempeño propio y apoyo externo. Xia et al. (2024) sostienen que la transformación debe alcanzar al estudiante, al profesorado y a la institución. Ningún cambio aislado ofrece garantías suficientes de aprendizaje responsable.

Weng et al. (2024) encontraron mayor valor educativo cuando la tecnología amplía la construcción de conocimiento en lugar de reemplazar el esfuerzo cognitivo. Esta diferencia obliga a revisar la relación entre tarea, criterio y resultado de aprendizaje. Una evaluación puede admitir el uso de IAG y conservar un alto nivel de exigencia si solicita justificar decisiones, contrastar fuentes, presentar versiones sucesivas y reconocer los límites de la respuesta obtenida. En ese caso, la herramienta forma parte del proceso, pero la comprensión sigue bajo responsabilidad del estudiante.

Las políticas institucionales también muestran un cambio gradual, desde la prohibición hacia niveles diferenciados de uso. Moorhouse et al. (2023) observaron orientaciones muy diversas entre universidades de reconocido prestigio, con diferencias en claridad, alcance y distribución de responsabilidades. Luo (2024) agrega que las normas centradas solo en la originalidad pueden mantener una idea limitada de la autoría. El reto consiste en precisar qué aportes debe realizar la persona, qué apoyos se consideran legítimos y qué registro permitirá reconstruir la interacción entre el estudiante y el sistema.

La Artificial Intelligence Assessment Scale ofrece una respuesta práctica mediante cinco niveles, desde la ausencia de inteligencia artificial hasta su uso pleno y declarado (Perkins et al., 2024). La experiencia piloto mostró que una política comprensible puede reducir dudas y promover el rediseño de tareas (Furze et al., 2024). Sin embargo, la escala no reemplaza el análisis pedagógico. Cada nivel debe corresponderse con los resultados de aprendizaje, las características de la disciplina, el acceso tecnológico y el grado de autonomía del estudiantado.

En la formación docente, la evaluación asume una responsabilidad adicional, pues anticipa prácticas que después pueden reproducirse en escuelas y universidades. Evaluar a futuros profesores mediante productos fáciles de automatizar transmite una visión instrumental del conocimiento profesional. Por el contrario, las simulaciones, los análisis de casos, los portafolios comentados, las defensas orales y las observaciones de desempeño permiten apreciar cómo cada estudiante interpreta situaciones, adapta principios y responde ante dilemas concretos. Estas evidencias ofrecen una base más cercana a la complejidad real de la práctica educativa.

### 3.2. Retroalimentación formativa y aprendizaje verificable

Una evaluación rediseñada exige también repensar la manera de acompañarla. La posibilidad de ofrecer retroalimentación inmediata y adaptada constituye uno de los aportes más visibles de la IAG. Esta ventaja resulta atractiva en grupos numerosos, donde el tiempo del profesorado suele ser limitado. Sin embargo, la calidad de los comentarios depende de la información disponible, los criterios de evaluación y la revisión humana. Un texto extenso no siempre orienta mejor. Cuando la respuesta es genérica, puede aumentar la carga cognitiva y dejar al estudiante sin una ruta clara para mejorar.

Ossa y Willatt (2023) utilizaron IAG para retroalimentar 578 respuestas a casos pedagógicos elaboradas por 347 estudiantes de formación inicial docente. El proceso se apoyó en criterios definidos y mantuvo supervisión humana, por lo que la herramienta funcionó como asistencia y no como evaluador autónomo. La experiencia muestra que la tecnología adquiere valor cuando existe

una rúbrica clara, ejemplos de calidad y una revisión profesional capaz de identificar imprecisiones o lecturas inadecuadas. Sin estas condiciones, la rapidez de respuesta puede ocultar errores relevantes.

Muñoz-Sepúlveda et al. (2026) sistematizaron un modelo que reúne simulación, videoanálisis, retroalimentación colaborativa e IAG. La propuesta resulta valiosa porque la evidencia principal no se limita a un texto, sino que incluye una actuación profesional observada desde distintas perspectivas. La tecnología ayuda a ordenar comentarios y reconocer patrones. La interpretación, en cambio, permanece vinculada con el diálogo, la experiencia y el criterio docente. Esta distribución de funciones evita que el sistema ocupe el lugar de quien evalúa.

A partir de estas experiencias, la retroalimentación mediada por IAG debería cumplir cuatro condiciones. En primer lugar, necesita criterios visibles y comprensibles. En segundo término, debe señalar evidencias concretas del desempeño. Además, ha de proponer acciones posibles, no recomendaciones vagas. Por último, debe abrir un espacio para que el estudiante responda, cuestione y explique qué hizo con la orientación. Cuando se cumplen estas condiciones, la retroalimentación deja de ser una entrega unilateral y adquiere el carácter de una conversación formativa.

El aprendizaje verificable exige conservar huellas del proceso. Los borradores, las decisiones registradas, los comentarios sobre salidas generadas, las fuentes contrastadas y las defensas breves permiten reconocer la evolución intelectual del estudiante. Estas evidencias no buscan vigilar cada movimiento. Su propósito es ofrecer una base razonable para valorar comprensión, autonomía y responsabilidad. Si la evaluación conserva únicamente el producto final, pierde información decisiva sobre la forma en que se construyó el conocimiento.

## 3.3. Competencias docentes para una evaluación mediada por inteligencia artificial

### *3.3.1. Marcos de competencias para la docencia*

Ofrecer retroalimentación de calidad depende, en última instancia, de las competencias de quien enseña. Una integración responsable requiere más que destreza para redactar instrucciones. UNESCO (2024) organiza las competencias docentes en cinco dimensiones: perspectiva centrada en las personas, ética, fundamentos y aplicaciones, pedagogía y aprendizaje profesional. Esta estructura evita reducir la alfabetización en inteligencia artificial al manejo técnico de una plataforma.

El docente necesita comprender cómo se producen las respuestas, cuáles son sus límites y en qué momento el uso de la herramienta contradice el propósito educativo. Solo así puede decidir con criterio cuándo incorporarla y cuándo prescindir de ella.

Celik (2023) amplía el conocimiento tecnológico, pedagógico y disciplinar hacia un TPACK inteligente, en el que la ética forma parte de la competencia profesional. Desde esta perspectiva, saber que una herramienta genera rúbricas o comentarios resulta insuficiente. El profesorado debe valorar su adecuación al nivel educativo, reconocer sesgos, proteger datos, revisar la calidad de la

evidencia y anticipar efectos sobre motivación, autonomía y equidad. Esta capacidad de juicio distingue un uso profesional de una adopción guiada solo por la novedad.

La formación docente latinoamericana muestra capacidad de adaptación, aunque también necesidades particulares. Betti Galasso (2026) identifica dimensiones técnico-operacionales, pedagógico-didácticas, ético-críticas, evaluativas y colaborativas. La dimensión evaluativa merece especial atención, porque obliga a redefinir qué significa demostrar aprendizaje cuando una máquina puede producir respuestas semejantes a las humanas. A la vez, la colaboración entre pares ofrece una vía concreta para compartir criterios, revisar errores y construir soluciones ajustadas al contexto.

#### *3.3.2. Evidencia sobre programas de formación*

Los programas formativos obtienen mejores resultados cuando combinan conocimiento técnico, práctica guiada y discusión ética. López-Vasco et al. (2025) registraron mejoras en conocimiento y predisposición después de un programa de 80 horas con docentes de universidades ecuatorianas. La percepción sobre originalidad, en cambio, no presentó cambios significativos. Este resultado sugiere que la capacitación operativa no resuelve por sí sola los dilemas de autoría, confianza y valoración académica. La formación necesita abordar esos conflictos de manera explícita.

Méndez Méndez et al. (2025) también observaron avances en dimensiones TPACK tras una intervención formativa en Cuenca. Los resultados son alentadores, aunque proceden de diseños preexperimentales y todavía requieren comparaciones y seguimiento. Una competencia sostenible se reconoce cuando el docente modifica sus instrumentos, explica las decisiones adoptadas y examina el efecto de la tecnología sobre el aprendizaje. Declarar mayor confianza para usar una herramienta no constituye, por sí solo, una evidencia suficiente de cambio profesional.

Por esta razón, la formación debería incluir talleres de rediseño evaluativo, análisis de respuestas erróneas, construcción de rúbricas, revisión de sesgos, protección de datos y elaboración de declaraciones de uso. También conviene abrir espacios donde el profesorado discuta casos reales y observe cómo una misma herramienta cambia sus respuestas según la disciplina, el idioma o el contexto. Esta preparación fortalece el juicio profesional y reduce la dependencia de recetas generales que no siempre responden a las necesidades de cada institución.

### 3.4. Ética, integridad académica y autoría

#### *3.4.1. Detectores, debido proceso y autoría*

Estas competencias incluyen decisiones éticas que afectan de manera directa a los estudiantes. La integridad académica no puede reducirse al uso de detectores. Los clasificadores que buscan identificar textos generados por IAG producen falsos positivos y resultados variables, sobre todo en textos breves, revisados o escritos por personas cuya primera lengua no es el inglés (Liang et al., 2023). Por ello, una acusación basada únicamente en una puntuación automática puede vulnerar el debido proceso y afectar con mayor intensidad a determinados grupos de estudiantes. El juicio humano y la revisión contextual son indispensables.

Gallent-Torres et al. (2023) muestran que la IAG amplía problemas ya conocidos de plagio, autoría y veracidad. Al mismo tiempo, obliga a revisar prácticas institucionales que antes de su aparición ya presentaban fragilidad. El riesgo no se limita a copiar una respuesta; también incluye presentar como propio un razonamiento que no se comprende. Frente a esta situación, la respuesta educativa debe priorizar la declaración del apoyo recibido, la verificación de las fuentes y la capacidad de explicar las decisiones tomadas durante el proceso.

Como literatura complementaria, Navarrete-Cazales et al. (2026) revisaron investigaciones publicadas entre 2019 y 2024 y concluyen que la IAG redefine la autoría humana, dificulta la detección del plagio automatizado y puede ampliar la brecha digital entre instituciones con distinto acceso tecnológico. Estos hallazgos coinciden con los del corpus sobre la fragilidad de los detectores y sobre la necesidad de políticas institucionales que regulen el uso académico de estas herramientas.

La autoría puede entenderse como responsabilidad sobre el producto y sobre el camino seguido para construirlo. Un estudiante conserva esa responsabilidad cuando selecciona el problema, formula criterios, contrasta información, corrige errores y responde por las consecuencias de su trabajo. La IAG puede colaborar, pero no puede asumir responsabilidad moral ni profesional. Esta distinción resulta decisiva en las profesiones educativas, donde las decisiones afectan a otras personas y deben sostenerse en conocimiento pedagógico, evidencia contextual y razones que puedan explicarse.

### *3.4.2. Privacidad, sesgos y equidad*

La privacidad constituye otro punto crítico. Cargar datos de estudiantes, informes de prácticas, historias escolares o grabaciones en servicios externos puede trasladar información a sistemas con políticas poco transparentes. UNESCO (2023) recomienda límites de edad, protección de datos y validación pedagógica. En la formación docente, una regla mínima debería impedir el ingreso de información identificable. Cuando el análisis de casos auténticos resulte necesario, los datos deben anonimizarse antes de utilizar cualquier plataforma externa.

Los sesgos también comprometen la calidad de la evaluación. Un modelo construido con datos dominantes puede reproducir estereotipos relacionados con lengua, género, cultura, capacidad o desempeño. En América Latina, la escasez de contenidos locales y las variaciones del español aumentan el riesgo de respuestas fuera de contexto. La revisión profesional debe buscar errores factuales, pero también supuestos culturales, omisiones y criterios de normalidad que podrían perjudicar a grupos específicos (UNESCO, 2023). El apartado 4.2.1 amplía este punto.

La equidad, por último, depende de las condiciones de acceso. Autorizar herramientas de pago sin ofrecer alternativas institucionales puede convertir la evaluación en una competencia de recursos. Las universidades deben indicar qué versiones están permitidas, qué apoyos se ofrecerán y cómo se evaluará a quienes no puedan o no deseen usarlas. Una innovación pierde legitimidad cuando amplía desigualdades o convierte una tecnología en requisito tácito para alcanzar un mejor desempeño.

## 3.5. Contexto latinoamericano y transformación digital

### *3.5.1. Condiciones de acceso y evidencia del corpus*

Estas cuestiones éticas y pedagógicas se viven de manera desigual según el contexto. La transformación digital en América Latina ocurre en condiciones muy distintas. Algunas universidades urbanas cuentan con infraestructura sólida, mientras otras enfrentan conectividad irregular, dispositivos compartidos y poco soporte técnico. Esta realidad obliga a evitar modelos que suponen acceso permanente, licencias costosas o dominio avanzado del inglés. Una política responsable debe partir de las capacidades reales de la comunidad y ofrecer alternativas equivalentes para quienes no disponen de los mismos recursos (Betti Galasso, 2026; UNESCO, 2023).

La región también posee fortalezas propias para orientar la innovación. Las tradiciones de pedagogía crítica, educación popular y formación situada ofrecen herramientas para cuestionar la aparente neutralidad tecnológica. Betti Galasso (2026) sitúa la justicia epistémica entre las competencias docentes emergentes. Esto lleva a preguntar qué conocimientos privilegia el sistema, qué voces deja fuera y de qué forma pueden incorporarse experiencias locales en la evaluación. Estas preguntas aportan una mirada que no siempre está presente en los marcos internacionales.

Las experiencias de Chile y Ecuador muestran que la IAG puede apoyar la retroalimentación, las simulaciones y el desarrollo profesional cuando existe mediación docente (López-Vasco et al., 2025; Muñoz-Sepúlveda et al., 2026; Ossa & Willatt, 2023). Sin embargo, estas iniciativas aún son recientes y se concentran en instituciones específicas. Hacen falta estudios multicéntricos que comparen disciplinas, modalidades, regiones y grupos con condiciones de acceso diferentes. Esa evidencia permitiría distinguir los resultados vinculados con la herramienta de aquellos que dependen del diseño o del contexto.

### *3.5.2. Literatura complementaria sobre universidades latinoamericanas*

Para profundizar en la realidad regional se incorporaron estudios recientes sobre universidades latinoamericanas que no forman parte del corpus. Roblez Torres et al. (2026) aplicaron un cuestionario de 30 ítems a 482 estudiantes y 121 docentes de una universidad ecuatoriana y observaron correlaciones positivas y significativas entre evaluación auténtica, trazabilidad del aprendizaje e integridad académica. La trazabilidad, sin embargo, obtuvo la media más baja de los cinco dominios. Este resultado respalda la importancia de conservar huellas del proceso, aunque el diseño correlacional y la muestra por conveniencia no permiten inferir causalidad.

Vallejos-Parás y Galindo-Cuesta (2025) analizaron las preocupaciones éticas de 133 docentes de educación superior de nueve instituciones lasallianas de Brasil, Colombia y México. Los participantes expresaron opiniones mixtas, con experiencias positivas y negativas en el aula, y mantuvieron incertidumbre sobre la aplicación ética de la IAG, aun en países que han impulsado el debate público y marcos regulatorios. Este resultado converge con el de López-Vasco et al. (2025), quienes observaron que la capacitación operativa no resolvió por sí sola los dilemas de originalidad.

Los datos regionales de adopción permiten situar estas experiencias. La CEPAL (2025) señala que la adopción de inteligencia artificial se concentra en pocos países y se orienta sobre todo al consumo de herramientas listas para el usuario final, que la formación avanzada es insuficiente y que muchas estrategias nacionales carecen de financiamiento, mecanismos de implementación y sistemas de evaluación de impacto. El comunicado no aporta cifras de infraestructura ni de acceso en el ámbito universitario, de modo que las brechas de conectividad, dispositivos y licencias siguen documentadas de forma indirecta y requieren estudios propios.

En el plano normativo, en octubre de 2025 la Cámara de Diputadas y Diputados de Chile despachó al segundo trámite legislativo un proyecto marco que regula los sistemas de inteligencia artificial según niveles de riesgo (Cámara de Diputadas y Diputados de Chile, 2025). El comunicado consultado no alude de forma específica a la educación superior, lo que sugiere que las reglas de evaluación académica seguirán dependiendo, en buena medida, de la normativa institucional.

### *3.5.3. Pertinencia lingüística y transformación digital*

La pertinencia lingüística añade otro desafío. Los sistemas pueden producir un español correcto en apariencia y, aun así, desconocer expresiones, normas, marcos curriculares o referencias propias de cada país. La revisión profesional debe comprobar el vocabulario y su relación con la normativa educativa local. En la formación docente, un ejemplo fuera de contexto puede conducir a decisiones equivocadas, aunque su redacción parezca convincente. La corrección formal no sustituye la comprensión cultural ni el conocimiento del sistema educativo.

Por estas razones, la transformación digital no debería medirse por el número de herramientas incorporadas. Su calidad depende de la capacidad institucional para mejorar el aprendizaje, reducir barreras y sostener decisiones transparentes. La IAG cobra sentido cuando amplía el acompañamiento y fortalece la reflexión. Pierde valor cuando reemplaza vínculos educativos o traslada responsabilidades hacia proveedores externos.

## 3.6. Gobernanza institucional y rediseño evaluativo

Las decisiones individuales de los docentes necesitan un marco institucional que las sostenga. Las universidades necesitan una gobernanza capaz de conectar política, currículo, infraestructura y desarrollo profesional. Las orientaciones generales resultan insuficientes porque cada asignatura enfrenta usos diferentes. Una tarea de escritura, una simulación clínica y una práctica docente requieren criterios propios. Chan (2023) propone marcos de política educativa que articulan dimensiones pedagógicas, éticas y operativas. La OCDE, por su parte, destaca la necesidad de mantener reglas flexibles ante una tecnología que cambia con rapidez (OECD, 2023).

La política institucional debe diferenciar el uso prohibido, opcional, requerido y sujeto a declaración. También debe aclarar responsabilidades frente a errores, protección de datos, propiedad intelectual y mecanismos de apelación. Estas definiciones necesitan aparecer en el sílabo y en cada consigna, no solo en un reglamento general. La claridad reduce conflictos y permite que el estudiante organice su trabajo con expectativas conocidas desde el inicio.

El rediseño evaluativo puede apoyarse en evidencias complementarias. Un producto elaborado con ayuda de IAG debería incluir una nota metodológica, fuentes verificadas, versiones del proceso y una defensa breve. En tareas profesionales, también conviene incorporar escenarios que cambien y exijan adaptar la respuesta. Estas estrategias no agregan trámites sin propósito. Su función es recuperar señales de comprensión que el producto final, por sí solo, ya no ofrece.

La supervisión humana debe permanecer en decisiones de alto impacto, como calificaciones finales, aprobación de prácticas o sanciones. La IAG puede sugerir patrones, resumir evidencias o comparar una respuesta con ciertos criterios. Aun así, el docente debe revisar el contexto y asumir la decisión. Esta responsabilidad requiere tiempo, formación y soporte institucional. Una supervisión solo nominal, sin condiciones de trabajo adecuadas, se convierte en una formalidad y no protege de manera efectiva a quienes participan en la evaluación.

Las políticas también requieren evaluación periódica. Conviene registrar incidentes, dificultades, percepciones, cambios en el rendimiento y efectos sobre la carga docente. Una reducción de tiempo no siempre representa una mejora, del mismo modo que toda resistencia no equivale a rechazo irracional. La evidencia institucional debe servir para ajustar reglas, retirar usos que producen daño y ampliar aquellos que muestran valor formativo. Sin este seguimiento, las políticas corren el riesgo de quedar desactualizadas o responder solo a impresiones.

### 3.7. Vacíos y desafíos de investigación

El balance de la evidencia muestra, además, áreas que aún no se han investigado. La revisión encontró una presencia alta de estudios exploratorios, encuestas de percepción y revisiones, frente a un número menor de investigaciones longitudinales. Todavía se sabe poco sobre la permanencia de los aprendizajes, la transferencia a la práctica profesional y los efectos de una exposición prolongada a sistemas generativos. También faltan comparaciones entre retroalimentación humana, automatizada y combinada, realizadas con criterios comunes de calidad. Este vacío limita la posibilidad de establecer qué modalidad funciona mejor y en qué condiciones.

Otro vacío se concentra en América Latina. Las experiencias disponibles muestran potencial, pero proceden de pocos países e instituciones. Se requieren estudios multicéntricos, participación de universidades rurales e interculturales y análisis de lenguas distintas al español dominante. La investigación también debe examinar si las herramientas reproducen desigualdades, cómo afectan la autonomía docente y qué costos institucionales acompañan su adopción. Sin esa evidencia, existe el riesgo de trasladar conclusiones obtenidas en contextos muy diferentes.

Aún faltan instrumentos validados para valorar alfabetización crítica, transparencia de uso y calidad del juicio humano en evaluaciones mediadas por IAG. Medir la frecuencia o la intención de uso no permite saber si la integración mejora el aprendizaje. Los próximos estudios deberían combinar indicadores de desempeño, análisis cualitativo del proceso y seguimiento de decisiones profesionales. Esta combinación ayudaría a comprender no solo qué resultados se obtienen, sino también cómo se producen y qué consecuencias tienen para estudiantes y docentes. Estos vacíos orientan las líneas de investigación del apartado 5.3.

# 4. Discusión

## 4.1. Convergencias y tensiones en la evidencia

La pregunta que orientó esta revisión permite reconocer un hallazgo central: la IAG hace visibles debilidades que ya existían en la evaluación universitaria. Antes de 2022, las tareas basadas en repetición, los criterios implícitos y la retroalimentación tardía ya generaban dificultades. La nueva tecnología las expone con mayor claridad, porque produce respuestas aceptables con poco esfuerzo. Por ello, la solución no consiste en recuperar el pasado mediante prohibiciones. El desafío real es construir evaluaciones en las que el pensamiento del estudiante resulte indispensable.

La defensa de la agencia humana constituye la principal coincidencia entre las fuentes. UNESCO (2023, 2024), la OECD (2026) y los estudios académicos sostienen que la tecnología debe ampliar capacidades sin sustituir la responsabilidad. En evaluación, un sistema puede colaborar con ejemplos, comentarios o preguntas. No debería, sin embargo, decidir de forma autónoma sobre logros, sanciones o aptitud profesional. Esas decisiones requieren contexto, criterio y una persona que pueda explicar y asumir sus consecuencias.

La transparencia representa una segunda coincidencia. Las políticas ambiguas generan inseguridad y respuestas defensivas, mientras una declaración clara convierte una práctica oculta en objeto de aprendizaje. Aun así, declarar el uso no es suficiente. El estudiante debe indicar qué herramienta empleó, con qué propósito, qué partes revisó y de qué manera verificó la información. La transparencia adquiere sentido cuando permite reconstruir el razonamiento y valorar la calidad de las decisiones, no cuando se limita a completar un formulario.

La evidencia sobre retroalimentación ofrece resultados concretos, en especial para grupos numerosos. Su valor depende, sin embargo, de la arquitectura pedagógica. Ossa y Willatt (2023) y Muñoz-Sepúlveda et al. (2026) sitúan la tecnología alrededor de casos, rúbricas, simulaciones y revisión profesional. No la presentan como sustituto del criterio docente. Esta diferencia separa una automatización orientada solo al ahorro de tiempo de una innovación que busca mejorar el aprendizaje y la reflexión sobre la práctica.

La relación entre eficiencia y profundidad mantiene una tensión difícil de resolver. Qian (2025) advierte que la IAG puede aumentar la productividad y, al mismo tiempo, trasladar fuera del estudiante habilidades que necesita desarrollar. La evaluación debe aprovechar la eficiencia para liberar tiempo destinado a interpretar, debatir y crear. Si la herramienta elimina precisamente la actividad que constituye el aprendizaje, la mejora operativa se transforma en una pérdida pedagógica.

En América Latina, la innovación requiere una perspectiva de justicia. Traducir marcos internacionales no basta. Las universidades deben considerar conectividad, costos, repertorios lingüísticos, diversidad cultural y autonomía institucional. La competencia docente también incluye saber cuándo no conviene utilizar IAG, cuándo es necesario ofrecer una alternativa y cómo reconocer conocimientos locales que el modelo puede omitir o representar de forma deficiente (Betti Galasso, 2026).

## 4.2. Equilibrio analítico: evidencia favorable y evidencia crítica

La evidencia reunida tiende a destacar los beneficios de la IAG, y esa inclinación merece discusión. Parte del corpus describe experiencias piloto con resultados alentadores, como las de Ossa y Willatt (2023), López-Vasco et al. (2025) y Méndez Méndez et al. (2025). Otra parte advierte sobre sesgos, opacidad, dependencia y límites de medición. Los estudios favorables suelen ser exploratorios y proceden de instituciones específicas, mientras que los críticos incluyen revisiones y análisis de políticas, pero también evidencia empírica, como la de Liang et al. (2023) sobre los detectores. Esta sección contrasta ambas lecturas y distingue lo que procede del corpus de lo que se incorpora como literatura complementaria.

### *4.2.1. Sesgos algorítmicos y transparencia de los contenidos generados*

Los sesgos de los modelos no constituyen un riesgo hipotético. Liang et al. (2023) mostraron que los detectores de texto clasifican con mayor frecuencia como generados por máquina los textos de escritores no nativos de inglés, y UNESCO (2023) advierte que los modelos pueden reproducir estereotipos presentes en sus datos. Bender et al. (2021), como literatura complementaria, sostienen que los modelos entrenados con grandes volúmenes de texto pueden codificar visiones dominantes y producir lenguaje fluido sin comprensión, por lo que reclaman documentar con cuidado los datos de entrenamiento. En evaluación, esto implica que una retroalimentación bien redactada puede encubrir criterios de normalidad ajenos al contexto del estudiante.

La transparencia presenta una segunda dificultad. Quien recibe un texto, una rúbrica o un comentario generado automáticamente difícilmente puede reconstruir en qué fuentes, supuestos o criterios se apoyó el sistema, de modo que verificar su exactitud depende de la revisión humana, y las respuestas fluidas dificultan detectar errores, omisiones o simplificaciones.

Kasneci et al. (2023), como literatura complementaria, señalan entre los retos de estos modelos el posible sesgo de las respuestas y la necesidad de supervisión humana continua, así como de estrategias de verificación de datos y pensamiento crítico. Por ello, la declaración de uso (apartados 3.4 y 4.1) es una condición mínima de transparencia: permite saber qué parte del trabajo se apoyó en el sistema y cuál fue revisada por una persona.

### *4.2.2. Dependencia tecnológica*

En el corpus, la preocupación por la dependencia aparece de forma indirecta. Weng et al. (2024) asocian el mayor valor educativo con usos que amplían la construcción de conocimiento, y Qian (2025) advierte sobre el traslado de habilidades fuera del estudiante. Bastani et al. (2025), como literatura complementaria, realizaron un experimento de campo con casi mil estudiantes de matemáticas de secundaria y hallaron que el acceso irrestricto a GPT-4 mejoró el desempeño durante la práctica, pero redujo las calificaciones en un 17 % cuando se retiró el acceso. Un tutor con salvaguardas pedagógicas mitigó ese efecto.

Los resultados de Bastani et al. corresponden a otro nivel educativo y no pueden trasladarse sin más a la educación superior, pero ilustran el riesgo de usar la herramienta como apoyo permanente.

Respecto del profesorado, la evidencia del corpus es limitada. Méndez Méndez et al. (2025) y López-Vasco et al. (2025) reportan mejoras en conocimiento, predisposición o dimensiones TPACK tras programas formativos, pero ninguno examina si esa confianza se traduce en autonomía profesional sostenida.

Más de la mitad de los estudiantes encuestados por el Digital Education Council (2024) cree que la dependencia excesiva de la inteligencia artificial perjudicará su rendimiento académico. La dependencia de servicios comerciales afecta, además, la continuidad y la autonomía institucional. Conviene, por tanto, comprobar en estudios futuros si los docentes conservan la capacidad de elaborar rúbricas, retroalimentar y decidir sin la mediación del sistema, y no solo si declaran mayor confianza para usarlo.

### *4.2.3. Competencias complejas y uso no supervisado*

Los resultados generados por IAG constituyen insumos revisables y no mediciones suficientes del desempeño en competencias complejas, como el juicio pedagógico, la deliberación ética, la atención a la diversidad y la decisión frente a la incertidumbre. Muñoz-Sepúlveda et al. (2026) sitúan la tecnología como apoyo para ordenar comentarios y reconocer patrones, mientras la interpretación permanece en el diálogo y el criterio docente, y Ossa y Willatt (2023) mantuvieron supervisión humana sobre las respuestas generadas. En los estudios descritos en este capítulo, la tecnología asiste la valoración, pero no la sustituye.

El uso no supervisado tiene consecuencias éticas concretas. Una sanción fundada solo en la puntuación de un detector puede afectar de manera desigual a estudiantes cuya primera lengua no es el inglés (Liang et al., 2023), y una calificación automatizada puede desconocer la lengua, el contexto o las condiciones de producción del trabajo. Por ello, cualquier implementación debe prever revisión humana, transparencia, resguardo de información y alternativas no automatizadas.

El Reglamento (UE) 2024/1689 clasifica como sistemas de alto riesgo, con requisitos que incluyen la supervisión humana, los destinados a evaluar resultados de aprendizaje, entre otros usos educativos (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2024). Esa clasificación ilustra cómo otras jurisdicciones tratan estas decisiones.

### *4.2.4. Desafíos regulatorios futuros*

Los desafíos regulatorios son de tres tipos. El primero es la heterogeneidad normativa: mientras la Unión Europea adoptó un reglamento con niveles de riesgo, las iniciativas latinoamericanas son diversas y se encuentran en etapas distintas, como el proyecto chileno despachado en 2025 (Cámara de Diputadas y Diputados de Chile, 2025). El segundo es la brecha entre estrategia y capacidad, pues muchas estrategias nacionales carecen de financiamiento, mecanismos de implementación y evaluación de impacto (CEPAL, 2025). El tercero es la falta de especificidad sectorial: el comunicado chileno consultado no alude a la educación superior, mientras que el reglamento europeo sí incluye usos educativos.

Para las universidades, esto significa que la regulación futura probablemente exigirá demostrar supervisión humana, trazabilidad y protección de datos en las decisiones evaluativas.

Las instituciones que ya registren usos, declaraciones, incidentes y apelaciones estarán en mejor posición para adaptarse. Esta previsión es una inferencia a partir de los marcos revisados y no una predicción sobre normas aún no aprobadas.

### 4.3. El marco CUIDA como propuesta teórica integradora

A partir de estas coincidencias y tensiones, el capítulo propone el marco CUIDA. Se trata de una propuesta teórica derivada de la revisión integrativa: resulta de la comparación crítica de categorías documentales y no de una intervención, de un estudio empírico ni de un proceso de validación. Su nombre reúne cinco condiciones: criterio pedagógico, uso transparente, integridad académica, datos protegidos y agencia humana. Su propósito es orientar decisiones antes, durante y después de la evaluación, y no convertirse en una lista burocrática. Cada dimensión obliga a justificar la incorporación tecnológica desde el aprendizaje, la equidad y la responsabilidad profesional, por lo que las cinco deben revisarse de manera conjunta.

El criterio pedagógico relaciona el uso de IAG con los resultados de aprendizaje y la evidencia solicitada. El uso transparente establece permisos, límites y formas de declaración. La integridad académica vincula autoría, comprensión y responsabilidad. Los datos protegidos incluyen privacidad, seguridad, sesgo y acceso equitativo. La agencia humana, por último, reserva al profesorado y al estudiantado aquellas decisiones que exigen contexto, juicio profesional y responsabilidad moral. Cada dimensión protege un aspecto distinto, pero ninguna funciona de manera aislada.

El aporte del marco consiste en reunir elementos que a menudo se analizan por separado. Una tarea puede ser pedagógicamente interesante y, al mismo tiempo, inaceptable si expone datos sensibles. Una política puede defender la integridad y resultar injusta si depende de detectores poco confiables. CUIDA invita a revisar el conjunto y ayuda a reconocer dónde se concentra el riesgo antes de aplicar una evaluación. Esta mirada evita soluciones parciales que resuelven un problema mientras crean otro.

La propuesta mantiene una relación directa con los ejes transversales del libro. Examina una disrupción científica, analiza la transformación digital, plantea una innovación evaluativa y responde a retos globales de ética, inclusión y gobernanza. Su aporte específico conecta estos debates con la formación docente, un campo estratégico porque las decisiones actuales influirán en las prácticas educativas de los próximos años. La Figura 2 representa esta arquitectura. La Tabla 4, a su vez, convierte cada dimensión en preguntas de diseño, evidencias esperadas y señales de alerta para la aplicación institucional.

**Figura 2**

*Marco CUIDA para una evaluación formativa mediada por inteligencia artificial generativa (IAG)*




*Nota.* Las cinco dimensiones se revisan de manera articulada antes, durante y después de la evaluación. Elaboración propia.

**Tabla 4**

*Matriz de decisiones del marco CUIDA*

| Dimensión | Pregunta de diseño | Evidencia esperada | Señal de alerta |
|---|---|---|---|
| Criterio pedagógico | ¿La IAG aporta al aprendizaje que se pretende evaluar? | Alineación con resultados, tarea y criterios | Uso por novedad, presión o comodidad |
| Uso transparente | ¿Están claros los permisos, límites y formas de declaración? | Consigna, registro de uso y nota metodológica | Reglas ambiguas, implícitas o cambiantes |
| Integridad académica | ¿Puede verificarse comprensión y autoría responsable? | Borradores, fuentes, defensa y reflexión | Producto final sin huellas del proceso |
| Datos protegidos | ¿Se preservan privacidad, seguridad, sesgo y equidad? | Anonimización, alternativas y acceso equivalente | Datos sensibles o herramientas obligatorias de pago |
| Agencia humana | ¿Quién revisa, decide y responde por el resultado? | Supervisión, explicación y posibilidad de apelación | Calificación, sanción o exclusión automatizada |

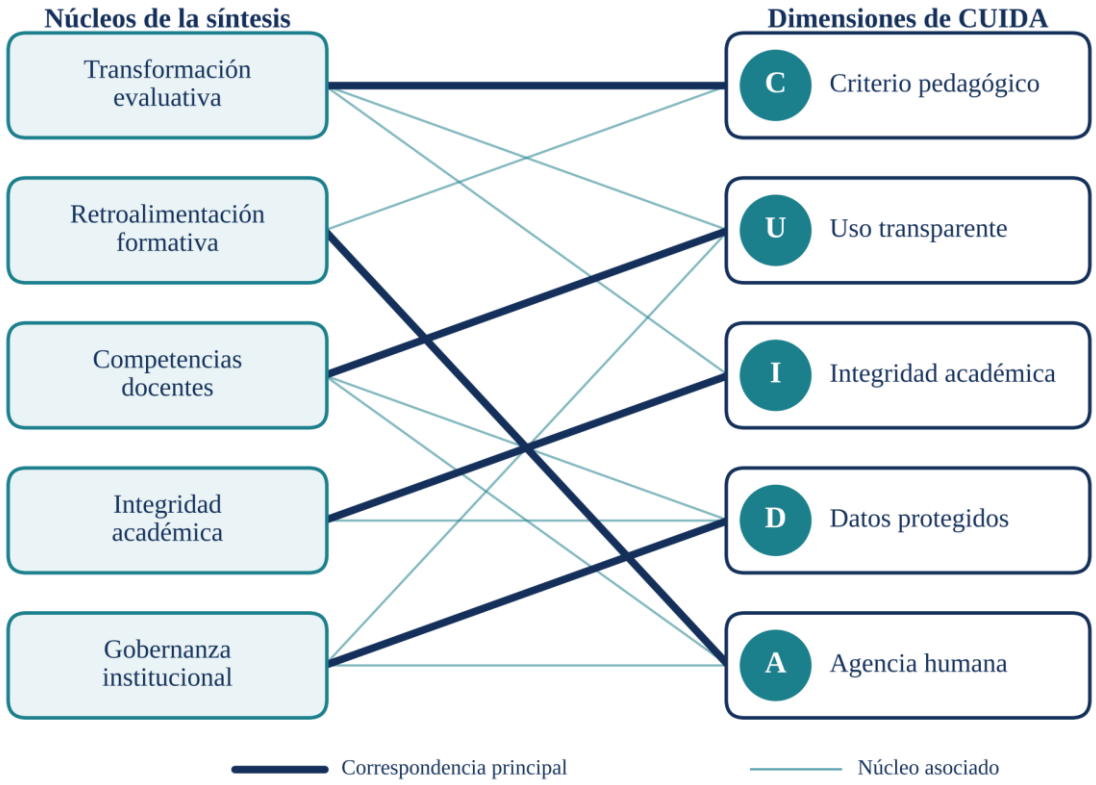
*Nota.* La matriz sirve para revisar consignas, rúbricas y políticas institucionales antes de su aplicación. IAG = inteligencia artificial generativa. Elaboración propia.

### *4.3.1. Derivación de CUIDA a partir de los hallazgos*

La Figura 3 sintetiza cómo cada núcleo de la síntesis se vincula con las dimensiones de CUIDA. La línea gruesa indica la correspondencia principal, es decir, la dimensión que responde de forma más directa al riesgo o la necesidad dominante en el núcleo. Las líneas delgadas señalan dimensiones asociadas que el análisis de ese núcleo también moviliza. La relación no es biunívoca: un mismo núcleo plantea exigencias a varias dimensiones, y cada dimensión recibe aportes de más de un núcleo.

**Figura 3**

*Correspondencia entre los núcleos de la síntesis y las dimensiones del marco CUIDA*




*Nota*. La línea gruesa indica la correspondencia principal y la línea delgada, el núcleo asociado. Las correspondencias son interpretativas y no han sido validadas empíricamente. Elaboración propia.

La Tabla 5 explica el proceso de derivación y vincula cada núcleo con las fuentes del corpus que lo sustentan. Cada fila se lee de izquierda a derecha: del núcleo y sus fuentes a la dimensión que lo traduce en una exigencia de diseño. La asignación de documentos a núcleos se reconstruyó a partir de su contenido, porque no se conservaron los registros originales de codificación, y debe leerse como una propuesta interpretativa. Las relaciones no constituyen evidencia de eficacia del marco; representan criterios argumentados que deberán contrastarse mediante estudios futuros.

**Tabla 5**

*Correspondencia entre núcleos de hallazgos, literatura del corpus y dimensiones de CUIDA*

| Núcleo de hallazgos | Fuentes del corpus | Dimensión principal de CUIDA | Dimensiones asociadas | Justificación conceptual |
|---|---|---|---|---|
| Transformación evaluativa | Furze et al. (2024); Luo (2024); Moorhouse et al. (2023); Perkins et al. (2024); Weng et al. (2024); Xia et al. (2024) | Criterio pedagógico | Uso transparente; integridad académica | Alinear el apoyo automatizado con evidencias observables de aprendizaje. |
| Retroalimentación formativa | Muñoz-Sepúlveda et al. (2026); Ossa y Willatt (2023) | Agencia humana | Criterio pedagógico | Conservar la deliberación y la revisión del estudiante y del docente. |
| Competencias docentes | Betti Galasso (2026); Celik (2023); López-Vasco et al. (2025); Méndez Méndez et al. (2025); UNESCO (2024) | Uso transparente | Datos protegidos; agencia humana | Definir permisos, límites, explicación y registro del apoyo de IA. |
| Integridad académica | Gallent-Torres et al. (2023); Liang et al. (2023); UNESCO (2023) | Integridad académica | Datos protegidos | Documentar autoría, responsabilidad y verificabilidad del proceso. |
| Gobernanza institucional | Chan (2023); OECD (2023) | Datos protegidos | Uso transparente; agencia humana | Prevenir riesgos de privacidad, sesgos y exclusión por acceso desigual. |
| Transversal | Bond et al. (2024); OECD (2026); Qian (2025) | Las cinco dimensiones | No aplica | Aportan la exigencia ética, la intención pedagógica y la tensión entre eficiencia y aprendizaje que atraviesan todo el marco. |

*Nota.* Las correspondencias son interpretativas y no han sido validadas empíricamente. IA = inteligencia artificial. Elaboración propia a partir de la síntesis de los 21 documentos.

### *4.3.2. Alcance científico y líneas de validación*

Conviene precisar el alcance de CUIDA. Es una construcción conceptual: sus dimensiones, preguntas y señales de alerta se infirieron de convergencias entre fuentes, y no de datos obtenidos con estudiantes o docentes. Su validez de contenido, su factibilidad, su aceptación institucional y su efecto sobre el aprendizaje, la equidad y las decisiones docentes deberán comprobarse mediante investigaciones futuras. Hasta entonces, el marco debe usarse como guía de revisión y no como instrumento de certificación.

Se propone una validación gradual en cuatro líneas. La primera es la revisión de contenido por especialistas en evaluación, formación docente y ética digital, que puede cuantificarse con la razón

de validez de contenido de Lawshe (1975). La segunda es el pilotaje de consignas y rúbricas elaboradas con el marco en cursos de formación inicial docente de distintas regiones, con registro del uso real.

La tercera línea es el análisis de consistencia de los instrumentos derivados, por ejemplo, mediante el acuerdo entre evaluadores. La cuarta es la comparación de las decisiones pedagógicas antes y después de aplicar CUIDA, en estudios con seguimiento y, cuando sea viable, con grupos de comparación en contextos educativos reales, incluidos aquellos con acceso tecnológico limitado.

### 4.4. Implicaciones institucionales

Las universidades pueden traducir la síntesis en decisiones concretas. La Tabla 6 organiza cinco ámbitos de acción con las recomendaciones que se derivan de los núcleos analizados, las fuentes que las respaldan y la dimensión de CUIDA con la que se relacionan. Las recomendaciones son propuestas formuladas a partir de la síntesis y de la literatura complementaria, y no han sido evaluadas en su aplicación.

En América Latina estas medidas requieren prever conectividad desigual, costos de licencias, variantes lingüísticas y diversidad cultural, y evitar que una herramienta de pago se convierta en requisito tácito. Los programas de desarrollo profesional, además, deben partir de la infraestructura disponible, pues la CEPAL (2025) describe una formación avanzada insuficiente y concentrada en pocos países.

**Tabla 6**

*Implicaciones y recomendaciones institucionales derivadas de la síntesis*

| Ámbito | Recomendaciones para la institución | Fundamento | Dimensión de CUIDA |
|---|---|---|---|
| Políticas universitarias de uso responsable | Definir por tarea y resultado de aprendizaje si el uso de la IAG está prohibido, es opcional, requerido o sujeto a declaración; incluir la regla en el sílabo y en cada consigna; precisar responsabilidades ante errores, propiedad intelectual y mecanismos de apelación. | Furze et al. (2024); Luo (2024); Moorhouse et al. (2023); Perkins et al. (2024) | Uso transparente |
| Protocolos de integridad académica | No fundar una sanción únicamente en la puntuación de un detector; exigir declaración de uso, fuentes verificadas, versiones del proceso y una defensa breve; garantizar el debido proceso y la revisión contextual. | Gallent-Torres et al. (2023); Liang et al. (2023); Navarrete-Cazales et al. (2026), literatura complementaria | Integridad académica |
| Lineamientos para la evaluación asistida por IA | Publicar criterios y rúbricas visibles; usar la IAG para borradores de retroalimentación que el docente revisa; mantener la decisión humana en calificaciones finales, aprobación de prácticas y sanciones; ofrecer alternativas a quien no use la herramienta. | Muñoz-Sepúlveda et al. (2026); Ossa y Willatt (2023); UNESCO (2024); Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2024), literatura complementaria | Criterio pedagógico; agencia humana |

| Ámbito | Recomendaciones para la institución | Fundamento | Dimensión de CUIDA |
|---|---|---|---|
| Capacitación docente en competencias digitales avanzadas | Ofrecer programas que combinen conocimiento técnico, práctica guiada y discusión ética, con talleres de rediseño evaluativo, análisis de respuestas erróneas, construcción de rúbricas, revisión de sesgos, protección de datos y declaraciones de uso; dar seguimiento a los cambios en los instrumentos. | Celik (2023); López-Vasco et al. (2025); Méndez Méndez et al. (2025); UNESCO (2024) | Uso transparente; datos protegidos |
| Gobernanza institucional | Crear una instancia que articule política, currículo, infraestructura y desarrollo profesional; registrar incidentes y percepciones; revisar periódicamente las reglas; anonimizar los datos antes de usar plataformas externas; prever licencias institucionales o alternativas equivalentes. | Chan (2023); OECD (2023); UNESCO (2023); CEPAL (2025), literatura complementaria | Datos protegidos |

*Nota.* Las recomendaciones son propuestas derivadas de la síntesis y no han sido evaluadas en su aplicación. IAG = inteligencia artificial generativa; IA = inteligencia artificial. Elaboración propia.

## 4.5. Limitaciones de la revisión

Las conclusiones de este capítulo deben leerse con las siguientes limitaciones. La primera deriva del carácter emergente y acelerado del campo analizado. El periodo 2023–2026 se justificó por la difusión pública de ChatGPT, pero también excluye estudios previos sobre inteligencia artificial educativa y concentra una producción reciente en la que predominan revisiones, estudios exploratorios y trabajos basados en percepciones, mientras siguen siendo escasas las investigaciones longitudinales y multicéntricas. Esta composición restringe la posibilidad de establecer efectos sostenidos, relaciones causales o comparaciones estables entre modalidades de evaluación mediadas por IAG.

Una segunda limitación corresponde a la representación regional. La evidencia latinoamericana incluida procede de un número reducido de países e instituciones, con escasa presencia de universidades rurales, interculturales y contextos lingüísticos diversos.

Una tercera limitación se relaciona con las restricciones idiomáticas y con la literatura no indexada. La búsqueda se restringió a documentos en español e inglés, lo que pudo dejar fuera trabajos en portugués u otras lenguas pertinentes para la región. Además, se consultaron cuatro bases y portales editoriales, por lo que pudo omitirse literatura relevante no indexada en ellos, como informes institucionales, tesis o literatura gris local, que no se incluyó de manera sistemática.

Pueden existir, asimismo, sesgos de publicación. Los estudios con resultados favorables suelen publicarse con mayor frecuencia que los que no encuentran efectos, y la exigencia de revisión por pares para los artículos pudo reforzar esa tendencia. Los cambios rápidos de las herramientas durante el periodo analizado reducen, además, la vigencia de algunos hallazgos.

Otras dos limitaciones afectan la reproducibilidad. La primera es la ausencia de un registro auditable de resultados brutos por base y etapa de exclusión (apartado 2.6). La segunda es que la asignación de documentos a núcleos se reconstruyó a partir de su contenido y no de los registros de

codificaciones originales, lo que impide afirmar saturación formal (apartado 2.7). Estas debilidades no invalidan la síntesis conceptual, pero exigen prudencia al atribuir exhaustividad y justifican una actualización futura del protocolo de búsqueda.

Finalmente, la heterogeneidad de poblaciones, herramientas, diseños y resultados impide estimar un efecto agregado. Esta revisión integrativa prioriza la síntesis crítica y la identificación de convergencias, riesgos y vacíos; por ello, sus conclusiones deben interpretarse como orientaciones fundamentadas en el corpus analizado y no como estimaciones generalizables de eficacia para todos los contextos universitarios. La literatura complementaria, por su parte, se seleccionó de manera dirigida y no pasó por la matriz de valoración, de modo que sirve para contrastar los hallazgos y no para ampliar la síntesis.

# 5. Conclusiones

## 5.1. Hallazgos principales

1. La IAG modifica la evaluación porque reduce la capacidad de los productos tradicionales para demostrar aprendizaje individual. La respuesta más sólida consiste en diversificar evidencias, valorar el proceso y solicitar explicaciones que permitan reconocer comprensión, juicio y responsabilidad. Este cambio no elimina la escritura ni los productos finales. Los integra con borradores, decisiones registradas y otras huellas que muestran cómo se elaboró el trabajo.
2. La retroalimentación automatizada puede ampliar la oportunidad y la cobertura del acompañamiento, siempre que cuente con criterios explícitos, supervisión humana y posibilidades de diálogo. Su calidad no depende de la extensión del comentario, sino de su relación con evidencias concretas y acciones posibles de mejora. El valor formativo aparece cuando el estudiante interpreta, cuestiona y utiliza la orientación recibida.
3. La formación docente debe integrar competencias técnicas, pedagógicas, éticas y evaluativas. Los programas centrados únicamente en el manejo de herramientas pueden aumentar la confianza, pero no resuelven dilemas de autoría, privacidad, sesgo y originalidad. La preparación profesional requiere práctica situada, análisis de casos, revisión de respuestas incorrectas y rediseño de tareas relacionadas con contextos reales.
4. En América Latina, la incorporación de IAG debe considerar las desigualdades de acceso, la diversidad cultural, la pertinencia lingüística y las capacidades institucionales. Una política uniforme puede ampliar brechas cuando supone licencias, conectividad o conocimientos que no están disponibles para toda la comunidad. La innovación responsable exige alternativas equivalentes, soporte técnico y participación de los actores educativos.
5. La evidencia favorable es, en su mayoría, exploratoria y procede de contextos específicos, mientras que la evidencia crítica advierte sesgos, opacidad, dependencia y límites para

valorar competencias complejas. Ambas lecturas son compatibles: la IAG aporta cuando la tarea, el criterio y la supervisión humana están definidos, y debilita el aprendizaje cuando el sistema sustituye el razonamiento o decide sin control profesional.

### 5.2. Implicaciones prácticas para las instituciones de educación superior

El marco CUIDA constituye una propuesta teórica surgida de la revisión integrativa. Sus cinco dimensiones (criterio pedagógico, uso transparente, integridad académica, datos protegidos y agencia humana) ofrecen preguntas orientadoras para revisar prácticas evaluativas, pero su eficacia, validez de contenido, factibilidad y aceptación institucional todavía requieren comprobación empírica. Con esa salvedad, y a partir de la síntesis, se recomienda a las instituciones de educación superior lo siguiente.

1. Establecer políticas diferenciadas por tarea y resultado de aprendizaje, que indiquen si el uso de la IAG está prohibido, es opcional, requerido o sujeto a declaración, y que figuren en el sílabo y en cada consigna.
2. Adoptar protocolos de integridad académica que no basen sanciones en la puntuación de un detector, exijan declaración de uso, fuentes verificadas y evidencias del proceso, y garanticen el debido proceso y la posibilidad de apelación.
3. Definir lineamientos de evaluación asistida por IA con criterios y rúbricas visibles, retroalimentación revisada por el docente y decisión humana en calificaciones finales, aprobación de prácticas y sanciones, junto con alternativas para quien no use la herramienta.
4. Capacitar al profesorado mediante programas que combinen conocimiento técnico, práctica guiada y discusión ética, con talleres de rediseño evaluativo, análisis de respuestas erróneas, revisión de sesgos y protección de datos, y con seguimiento de los cambios en los instrumentos.
5. Constituir instancias de gobernanza que revisen periódicamente las reglas, registren incidentes, protejan los datos del estudiantado y ofrezcan alternativas equivalentes de acceso, con atención a la conectividad, las lenguas y la diversidad cultural de cada contexto latinoamericano.

### 5.3. Líneas futuras de investigación

1. Desarrollar estudios longitudinales y multicéntricos que comparen formas de retroalimentación, examinen la transferencia a la práctica y valoren efectos sobre autonomía, equidad y carga docente, con participación de universidades rurales e interculturales y de lenguas distintas al español dominante.
2. Validar el marco CUIDA mediante revisión de contenido por especialistas, pilotaje de consignas y rúbricas, análisis de consistencia de los instrumentos y comparación de decisiones pedagógicas antes y después de su uso en contextos educativos reales.

3. Construir instrumentos validados para medir aprendizaje verificable, alfabetización crítica y calidad del juicio humano en evaluaciones mediadas por IAG, y examinar la dependencia tecnológica del profesorado y el efecto de las regulaciones emergentes sobre la evaluación.

## Referencias bibliográficas

Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 122*(26), Article e2422633122. https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? In *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 610–623). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3442188.3445922

Betti Galasso, B. J. (2026). Inteligencia artificial generativa y formación docente: Competencias emergentes en América Latina – una revisión de alcance. *Actualidades Investigativas en Educación, 26*(1), 1–43. https://doi.org/10.15517/z4mcs052

Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., Oxley, E., Pham, P., Chong, S. W., & Siemens, G. (2024). A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21*, Article 4. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-z

Braun, V., & Clarke, V. (2021). One size fits all? What counts as quality practice in (reflexive) thematic analysis? *Qualitative Research in Psychology, 18*(3), 328–352. https://doi.org/10.1080/14780887.2020.1769238

Cámara de Diputadas y Diputados de Chile. (2025, 13 de octubre). *Cámara despachó marco regulatorio para uso de la inteligencia artificial (IA)* [Comunicado de prensa]. https://www.camara.cl/cms/2025/10/13/camara-despacho-marco-regulatorio-para-uso-de-la-inteligencia-artificial-ia/

Celik, I. (2023). Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. *Computers in Human Behavior, 138*, Article 107468. https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107468

CEPAL. (2025, 3 de octubre). *América Latina y el Caribe acelera la adopción de la inteligencia artificial, aunque con desafíos en inversión, talento y gobernanza* [Comunicado de prensa]. https://www.cepal.org/es/comunicados/america-latina-caribe-acelera-la-adopcion-la-inteligencia-artificial-aunque-desafios

Chan, C. K. Y. (2023). A comprehensive AI policy education framework for university teaching and learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 20*, Article 38. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00408-3

Digital Education Council. (2024, 7 de agosto). *What students want: Key results from DEC Global AI Student Survey 2024*. https://www.digitaleducationcouncil.com/post/what-students-want-key-results-from-dec-global-ai-student-survey-2024

Furze, L., Perkins, M., Roe, J., & MacVaugh, J. (2024). The AI Assessment Scale (AIAS) in action: A pilot implementation of GenAI-supported assessment. *Australasian Journal of Educational Technology, 40*(4), 38–55. https://doi.org/10.14742/ajet.9434

Gallent-Torres, C., Zapata-González, A., & Ortego-Hernando, J. L. (2023). El impacto de la inteligencia artificial generativa en educación superior: Una mirada desde la ética y la integridad académica. *RELIEVE*, *29*(2), 50–65. https://doi.org/10.30827/relieve.v29i2.29134

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., . . . 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

Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, *28*(4), 563–575. https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x

Liang, W., Yuksekgonul, M., Mao, Y., Wu, E., & Zou, J. (2023). GPT detectors are biased against non-native English writers. *Patterns*, *4*(7), Article 100779. https://doi.org/10.1016/j.patter.2023.100779

López-Vasco, F. E., Angulo-Álvarez, M. R., & Sosa-Zúñiga, D. I. (2025). Formación docente en IA generativa: Impacto ético y retos en educación superior. *Alteridad*, *20*(2), 166–177. https://doi.org/10.17163/alt.v20n2.2025.01

Luo, J. (2024). A critical review of GenAI policies in higher education assessment: A call to reconsider the originality of students' work. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, *49*(5), 651–664. https://doi.org/10.1080/02602938.2024.2309963

Malterud, K., Siersma, V. D., & Guassora, A. D. (2016). Sample size in qualitative interview studies: Guided by information power. *Qualitative Health Research*, *26*(13), 1753–1760. https://doi.org/10.1177/1049732315617444

Méndez Méndez, K. F., Delgado Calle, B. B., & Sequera Morales, A. G. (2025). Efectos de la aplicación de un programa de formación docente sobre el nivel de uso de programas de IAG en una institución educativa de Cuenca, Ecuador. *Espacios*, *46*(3), 361–370. https://doi.org/10.48082/espacios-a25v46n03p28

Moorhouse, B. L., Yeo, M. A., & Wan, Y. (2023). Generative AI tools and assessment: Guidelines of the world's top-ranking universities. *Computers and Education Open*, *5*, Article 100151. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2023.100151

Muñoz-Sepúlveda, F., Willatt, C., & Bawarshi-Abrigo, Y. (2026). Evaluación formativa en la formación inicial docente: Un modelo de retroalimentación basado en simulación, videoanálisis e inteligencia artificial generativa. *Revista Realidad Educativa*, *6*(2), 133–160. https://doi.org/10.38123/rre.v6i2.969

Navarrete-Cazales, Z., Cruz-Victoria, J. C., & Manzanilla-Granados, H. M. (2026). Autoría e integridad académica ante la inteligencia artificial generativa en educación superior. *Revista Educación Superior y Sociedad (ESS)*, *37*(2), 205–222. https://doi.org/10.54674/ess.v37i2.1174

OECD. (2023). *OECD digital education outlook 2023: Towards an effective digital education ecosystem*. https://doi.org/10.1787/c74f03de-en

OECD. (2026). *OECD digital education outlook 2026: Exploring effective uses of generative AI in education*. https://doi.org/10.1787/062a7394-en

Ossa, C., & Willatt, C. (2023). Uso de inteligencia artificial generativa para retroalimentar escritura académica en procesos de formación inicial docente. *European Journal of Education and Psychology*, *16*(2), 1–16. https://doi.org/10.32457/ejep.v16i2.2412

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., . . . 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

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2024, 13 de junio). *Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 300/2008, (UE) n.º 167/2013, (UE) n.º 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 y (UE) 2019/2144 y las Directivas 2014/90/UE, (UE) 2016/797 y (UE) 2020/1828 (Reglamento de Inteligencia Artificial)*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 2024/1689. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj

Perkins, M., Furze, L., Roe, J., & MacVaugh, J. (2024). The Artificial Intelligence Assessment Scale (AIAS): A framework for ethical integration of generative AI in educational assessment. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, *21*(6), 49–66. https://doi.org/10.53761/q3azde36

Qian, Y. (2025). Pedagogical applications of generative AI in higher education: A systematic review of the field. *TechTrends*, *69*(5), 1105–1120. https://doi.org/10.1007/s11528-025-01100-1

Roblez Torres, G. V., Andrade Apolo, A. M., & Gonzaga Aguilar, K. E. (2026). Alfabetización en inteligencia artificial generativa y evaluación auténtica en educación superior: Integridad académica. *Educação em Revista*, *42*, Article e67812. https://doi.org/10.1590/0102-469867812

Stephenson, R., & Armstrong, C. (2026). *Student generative artificial intelligence survey 2026* (HEPI Report 199). Higher Education Policy Institute. https://www.hepi.ac.uk/reports/student-generative-ai-survey-2026/

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693

UNESCO. (2024). *AI competency framework for teachers*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104

Vallejos-Parás, C., & Galindo-Cuesta, J. A. (2025). Ética e inteligencia artificial generativa en la educación: Perspectivas docentes de Brasil, Colombia y México. *Actualidades Pedagógicas*, (85), Article e5234. https://doi.org/10.19052/ap.vol1.iss85.5234

Weng, X., Xia, Q., Gu, M., Rajaram, K., & Chiu, T. K. F. (2024). Assessment and learning outcomes for generative AI in higher education: A scoping review on current research status and trends. *Australasian Journal of Educational Technology*, *40*(6), 37–65. https://doi.org/10.14742/ajet.9540

Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, *52*(5), 546–553. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

Xia, Q., Weng, X., Ouyang, F., Lin, T. J., & Chiu, T. K. F. (2024). A scoping review on how generative artificial intelligence transforms assessment in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21*, Article 40. https://doi.org/10.1186/s41239-024-00468-z

CAPÍTULO 2

# Aprendizaje inteligente y tecnologías emergentes: personalización educativa y transformación pedagógica desde una revisión sistemática

*Intelligent learning and emerging technologies: educational personalization and pedagogical transformation through a systematic review*

**1 Marco Patricio Chicaiza Casa**
*Diploma Superior en Investigación Socioeducativa*
Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Ecuador
emilhiochicaiza756@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-7420-3993

**2 Edwin Alfonso Simbaña Simbaña**
*Magíster en Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros*
Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Ecuador
edal525nice@gmail.com
https://orcid.org/0009-0005-4787-7816

**3 María del Rosario Vivar Sarmiento**
*Magíster en Docencia Universitaria*
Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Ecuador
charitovivar12@gmail.com
https://orcid.org/0009-0000-4662-9398

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_2 RECIBIDO 10/09/2026 | ACEPTADO 14/10/2026

## RESUMEN

La acelerada convergencia entre innovación tecnológica y educación está configurando nuevos ecosistemas de aprendizaje caracterizados por la personalización, la adaptabilidad y la interacción inteligente. En este escenario, las tecnologías emergentes particularmente la inteligencia artificial, los sistemas de aprendizaje adaptativo, la analítica del aprendizaje y los entornos inmersivos trascienden su función instrumental para intervenir progresivamente en la planificación pedagógica, la mediación docente y la construcción autónoma del conocimiento. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar la evidencia científica disponible sobre la contribución de las tecnologías emergentes a la personalización educativa y a la transformación de las prácticas pedagógicas, identificando tendencias, beneficios, limitaciones y desafíos para su implementación sostenible. Metodológicamente, se plantea una búsqueda documental sistematizada en bases de datos académicas de reconocido impacto, mediante descriptores relacionados con tecnologías emergentes, aprendizaje inteligente, personalización educativa y transformación pedagógica. La selección de estudios se estructura mediante criterios explícitos de inclusión y exclusión, priorizando publicaciones científicas arbitradas y evidencia empírica reciente, conforme a los principios de transparencia establecidos por PRISMA. Los hallazgos evidencian que estas tecnologías favorecen trayectorias de aprendizaje diferenciadas, retroalimentación inmediata, identificación de necesidades educativas y diversificación de estrategias didácticas; no obstante, persisten desafíos vinculados con la alfabetización digital docente, la privacidad de los datos, la brecha tecnológica, la dependencia algorítmica y la formación ética. Se concluye que el aprendizaje inteligente posee un considerable potencial transformador cuando la innovación tecnológica se articula con fundamentos pedagógicos, inclusión educativa y criterios de responsabilidad ética.

**Palabras clave:** tecnologías emergentes, aprendizaje, personalización educativa, transformación pedagógica

**ABSTRACT**

The accelerated convergence between technological innovation and education is shaping new learning ecosystems characterized by personalization, adaptability, and intelligent interaction. Within this context, emerging technologies particularly artificial intelligence, adaptive learning systems, learning analytics, and immersive environments are transcending their instrumental function to increasingly influence pedagogical planning, instructional mediation, and the autonomous construction of knowledge. The objective of this systematic review was to analyze the available scientific evidence regarding the contribution of emerging technologies to educational personalization and the transformation of pedagogical practices, identifying trends, benefits, limitations, and challenges associated with their sustainable implementation. Methodologically, a systematic documentary search was proposed across high-impact academic databases, using descriptors related to emerging technologies, intelligent learning, educational personalization, *and* pedagogical transformation. *The* selection of studies was structured according to explicit inclusion and exclusion criteria, prioritizing peer-reviewed scientific publications and recent empirical evidence, in accordance with the transparency principles established by PRISMA. The findings indicate that these technologies facilitate differentiated learning pathways, immediate feedback, the identification of educational needs, and the diversification of instructional strategies. Nevertheless, challenges persist regarding teachers' digital literacy, data privacy, technological disparities, algorithmic dependence, and ethical training. It is concluded that intelligent learning has substantial transformative potential when technological innovation is coherently integrated with sound pedagogical foundations, educational inclusion, and principles of ethical responsibility.

**Keywords:** emerging technologies, learning, educational personalization, pedagogical transformation

## 1. Introducción

La acelerada convergencia entre innovación tecnológica y educación está reconfigurando las condiciones bajo las cuales se produce, media y evalúa el aprendizaje. Durante estos últimos años (a partir de la pandemia), la incorporación de plataformas digitales, dispositivos móviles y recursos multimedia ha evolucionado hacia ecosistemas caracterizados por una mayor capacidad de procesamiento, automatización, interacción y análisis de datos. En este proceso, las tecnologías emergentes han adquirido una función progresivamente estratégica, particularmente mediante la integración de inteligencia artificial (IA), sistemas de aprendizaje adaptativo, analítica del aprendizaje, realidad virtual y realidad aumentada.

Estas tecnologías no solo amplían el repertorio de recursos disponibles para docentes y estudiantes, sino que posibilitan generar respuestas pedagógicas diferenciadas a partir de información sobre el desempeño, las necesidades y las trayectorias individuales de aprendizaje. La literatura reciente evidencia, por ejemplo, una expansión de los sistemas adaptativos sustentados en IA debido a su capacidad para ajustar contenidos, itinerarios y retroalimentación en función de características dinámicas del estudiante.

En este escenario emerge una transición conceptual desde la tecnología educativa entendida como recurso complementario hacia ecosistemas de aprendizaje inteligentes, en los cuales los procesos algorítmicos pueden participar en la identificación de necesidades, la generación de contenidos, la personalización de experiencias y la toma de decisiones pedagógicas. La analítica del aprendizaje, particularmente cuando incorpora modelos de IA y procesamiento de datos multimodales, ha ampliado las posibilidades para comprender patrones de interacción y comportamiento que anteriormente permanecían parcialmente inaccesibles para los actores educativos. Investigaciones recientes muestran, además, una creciente producción científica en la intersección entre IA y analítica multimodal, aunque persisten limitaciones relacionadas con la conexión entre los desarrollos tecnológicos, las teorías del aprendizaje y el impacto pedagógico verificable.

Sin embargo, la expansión de estas tecnologías no implica necesariamente una transformación educativa efectiva. El principal problema de conocimiento reside en la fragmentación y heterogeneidad de la evidencia disponible, dado que las investigaciones suelen concentrarse en tecnologías específicas, contextos educativos particulares o resultados delimitados, dificultando una comprensión integrada de cómo las tecnologías emergentes contribuyen a la personalización educativa y a la transformación de las prácticas pedagógicas. Aunque diferentes revisiones reportan beneficios potenciales sobre la adaptación de contenidos, la retroalimentación, el compromiso y el desempeño académico, también señalan importantes desafíos relacionados con la privacidad de los datos, la distorsión en la toma de decisiones automatizada, la confiabilidad de los sistemas, la participación de los usuarios y la preparación del profesorado.

Esta problemática adquiere especial relevancia porque la incorporación tecnológica en educación no puede evaluarse exclusivamente mediante indicadores de eficiencia o rendimiento. Una perspectiva científicamente pertinente requiere examinar simultáneamente qué tecnologías se utilizan, con qué propósitos pedagógicos, en qué condiciones de implementación y con qué efectos sobre los procesos de aprendizaje.

La evidencia reciente sobre sistemas adaptativos impulsados por IA, por ejemplo, identifica avances en la construcción de itinerarios personalizados y en el apoyo educativo inteligente, pero también advierte que la evidencia empírica continúa siendo desigual y que las dimensiones de equidad y gobernanza ética permanecen insuficientemente desarrolladas. Asimismo, las investigaciones centradas en enfoques humanocéntricos de IA y analítica del aprendizaje destacan la necesidad de preservar el control humano, la seguridad, la confiabilidad y la participación efectiva de estudiantes y docentes en el diseño e implementación de estas soluciones.

Desde una perspectiva científica y académica, revisar sistemáticamente este campo resulta fundamental para superar aproximaciones tecno céntricas y avanzar hacia una comprensión pedagógicamente fundamentada de la innovación. La relevancia de esta revisión radica en que permite integrar evidencia dispersa, identificar patrones de investigación, contrastar resultados, reconocer vacíos teóricos y metodológicos y establecer condiciones que favorezcan una implementación educativa responsable. Una revisión reciente sobre aplicaciones de IA en educación, por ejemplo, identifica la personalización del aprendizaje como uno de los principales

beneficios atribuidos a estas tecnologías, pero simultáneamente señala problemas relacionados con precisión, privacidad y formación especializada del profesorado. De manera complementaria, investigaciones recientes sobre IA y aprendizaje adaptativo muestran que el campo está experimentando una rápida expansión, lo que hace necesaria una actualización permanente de la evidencia científica.

La presente revisión se justifica, por tanto, por la necesidad de construir una visión integradora que trascienda la descripción de herramientas y examine las implicaciones pedagógicas, cognitivas, organizativas y éticas asociadas con la incorporación de tecnologías emergentes. En particular, resulta pertinente analizar si la personalización mediada tecnológicamente se traduce efectivamente en mejores oportunidades de aprendizaje, si favorece prácticas docentes más flexibles y fundamentadas en evidencia, y cuáles son las condiciones necesarias para evitar que la automatización profundice desigualdades preexistentes. En consecuencia, la revisión adopta una perspectiva crítica que concibe la transformación pedagógica no como resultado automático de la innovación tecnológica, sino como un proceso condicionado por la interacción entre tecnología, pedagogía, competencias docentes, características del alumnado y contexto institucional.

En correspondencia con esta problemática, el objetivo de esta revisión sistemática es analizar la evidencia científica disponible sobre la contribución de las tecnologías emergentes a la personalización educativa y a la transformación de las prácticas pedagógicas, identificando tendencias, beneficios, limitaciones, condiciones de implementación y desafíos éticos asociados con su integración en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Para garantizar transparencia y reproducibilidad, la revisión se plantea conforme a los principios de reporte establecidos por PRISMA 2020, referente metodológico ampliamente utilizado para estructurar y comunicar revisiones sistemáticas.

## 2. Metodología de la revisión

El presente estudio se desarrolló como una revisión sistemática de revisiones, también denominada revisión de segundo orden, orientada a identificar, organizar, comparar y sintetizar la evidencia científica de síntesis disponible acerca de la incorporación de tecnologías emergentes en los procesos de aprendizaje, con énfasis en su contribución a la personalización educativa y a la transformación de las prácticas pedagógicas. Esta denominación se justifica porque la unidad de análisis del corpus definitivo no estuvo constituida principalmente por estudios primarios, sino por publicaciones de síntesis, en particular revisiones sistemáticas y un metanálisis. En consecuencia, los resultados se interpretan como una síntesis de evidencia previamente sintetizada y no como una estimación directa e independiente de los efectos de las tecnologías examinadas.

La revisión se reportó tomando como referencia las recomendaciones de PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que orientan la comunicación transparente de las etapas de identificación, selección, exclusión e inclusión de estudios (Page et al., 2021). PRISMA 2020 se empleó como guía de reporte del proceso; por sí solo,

no constituye un método de evaluación de la calidad de las revisiones incluidas ni sustituye los procedimientos específicos que requiere una revisión de segundo orden.

En correspondencia con este marco, se estableció una ruta metodológica orientada a garantizar la trazabilidad de las decisiones adoptadas durante la revisión. El procedimiento comprendió la delimitación del objeto de estudio, la definición de los descriptores, la búsqueda documental, la depuración de registros, el cribado de títulos y resúmenes, la evaluación de elegibilidad mediante texto completo, la valoración de la calidad metodológica y la extracción y síntesis de la información.

El proceso metodológico comprendió cinco fases articuladas: a) delimitación conceptual y formulación de los descriptores; b) diseño y ejecución de la estrategia de búsqueda; c) depuración y eliminación de registros duplicados; d) aplicación sucesiva de los criterios de inclusión y exclusión; y e) análisis y síntesis cualitativa de los estudios seleccionados. La unidad de análisis estuvo constituida por publicaciones científicas relacionadas con tecnologías emergentes aplicadas al aprendizaje y sus implicaciones en términos de personalización, adaptación, interacción, desempeño y transformación de las prácticas educativas.

Dado que el corpus definitivo estuvo constituido por publicaciones de síntesis, principalmente revisiones sistemáticas y un metanálisis, la unidad de análisis fue cada publicación seleccionada. Por lo tanto, el diseño se delimita como una revisión de revisiones o revisión de segundo orden, con síntesis temática comparativa. Esta decisión metodológica implica que las conclusiones dependen de los criterios, la calidad y el alcance de las revisiones originales; además, puede existir solapamiento entre los estudios primarios incluidos en distintas publicaciones. Para evitar la doble contabilización, los recuentos de estudios informados por cada revisión se registran como características de la publicación y no se suman como si representaran investigaciones independientes. En consecuencia, los hallazgos se interpretan considerando la posible heterogeneidad entre revisiones y no se presentan como una nueva estimación conjunta de efectos.

## 2.1. Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda fue diseñada a partir de los conceptos centrales derivados del objetivo de investigación: tecnologías emergentes, aprendizaje inteligente, personalización educativa y transformación pedagógica. Para ampliar la recuperación documental se utilizaron descriptores en inglés y español.

Entre los principales términos empleados se incluyeron: emerging technologies o tecnologías emergentes, intelligent learning o aprendizaje inteligente, inteligencia artificial en educación, aprendizaje adaptativo, analítica del aprendizaje, aprendizaje inmersivo, personalización educativa y transformación pedagógica.

Los términos fueron combinados mediante operadores booleanos AND y OR, utilizando diferentes ecuaciones de búsqueda adaptadas a la sintaxis particular de cada base de datos.

La estrategia se organizó en cuatro grupos conceptuales: tecnologías emergentes; inteligencia artificial y aprendizaje inteligente; personalización y aprendizaje adaptativo; y analítica,

interacción y transformación pedagógica. La combinación de estos grupos mediante operadores booleanos permitió ampliar la sensibilidad de la búsqueda y, posteriormente, incrementar su especificidad mediante los criterios de elegibilidad.

Para las bases de datos hispanohablantes se emplearon combinaciones equivalentes en español. La estrategia fue deliberadamente amplia en la fase inicial con el propósito de maximizar la sensibilidad de la recuperación documental y posteriormente incrementar la especificidad mediante los criterios de elegibilidad.

Como estrategia complementaria, se efectuó una revisión de las referencias bibliográficas de los estudios potencialmente pertinentes, con el propósito de identificar publicaciones relevantes que no hubieran sido recuperadas mediante las ecuaciones principales. Los registros identificados por esta vía fueron sometidos a los mismos criterios de inclusión y exclusión aplicados a los resultados obtenidos directamente de las bases de datos.

El periodo temporal establecido comprendió publicaciones entre enero de 2020 y septiembre de 2026. El límite inicial se estableció para concentrar el análisis en una etapa caracterizada por una expansión particularmente significativa de la inteligencia artificial, los sistemas adaptativos, la analítica educativa y otras tecnologías emergentes. El límite superior corresponde a la fecha de ejecución de la búsqueda documental.

La búsqueda se cerró en septiembre de 2026, con el propósito de incorporar la evidencia científica disponible hasta la fecha de ejecución y mantener un límite temporal explícito y reproducible.

### 2.2. Bases de datos consultadas

Entre las bases de datos que sirvieron de apoyo para el desarrollo de esta investigación fueron:

- Scopus, para identificar producción científica internacional y estudios interdisciplinarios de amplia cobertura.
- Web of Science (WoS), para recuperar literatura científica indexada y fortalecer la cobertura de publicaciones de alto impacto.
- ERIC (Education Resources Information Center), debido a su especialización en investigación educativa y ciencias del aprendizaje.
- SciELO, para incorporar producción científica iberoamericana y latinoamericana.
- Redalyc, para recuperar estudios académicos de acceso abierto procedentes principalmente de América Latina, España y otras regiones iberoamericanas.
- Dialnet, como fuente complementaria de literatura científica en lengua española.
- PubMed, utilizada de manera complementaria para identificar investigaciones relacionadas con dimensiones cognitivas, tecnológicas o interdisciplinarias del aprendizaje cuando estas se vincularon directamente con el objeto de estudio.

La utilización combinada de bases de datos internacionales y regionales buscó disminuir el riesgo de sesgo de cobertura lingüística y geográfica. Del mismo modo, se efectuó una revisión de las referencias bibliográficas de los estudios potencialmente relevantes para identificar publicaciones adicionales que pudieran no haber sido recuperadas mediante las ecuaciones de búsqueda.

La combinación de fuentes internacionales y regionales permitió ampliar la cobertura temática, lingüística y geográfica de la revisión. Scopus y Web of Science aportaron cobertura internacional; ERIC permitió fortalecer la recuperación de literatura especializada en educación; SciELO, Redalyc y Dialnet contribuyeron a incorporar producción iberoamericana; y PubMed se utilizó como fuente complementaria para estudios interdisciplinarios vinculados con procesos cognitivos, analíticos o tecnológicos del aprendizaje.

## 2.3. Criterios de inclusión

Con el propósito de garantizar la pertinencia y consistencia del corpus documental, se establecieron previamente los siguientes criterios de inclusión:

- **Periodo de publicación:** estudios publicados entre 2020 y 2026.
- **Tipo de publicación**: artículos científicos, revisiones sistemáticas, estudios empíricos y trabajos de investigación publicados en revistas académicas.
- **Indexación**: documentos recuperados de las bases de datos académicas seleccionadas.
- **Pertinencia temática:** investigaciones que abordaran de manera explícita la utilización de tecnologías emergentes en procesos de enseñanza, aprendizaje o formación educativa.
- **Relación con las variables de interés:** estudios que analizaran al menos una de las siguientes dimensiones: personalización del aprendizaje, aprendizaje adaptativo, inteligencia artificial educativa, analítica del aprendizaje, aprendizaje inmersivo, transformación pedagógica, prácticas docentes o resultados de aprendizaje.
- **Disponibilidad:** documentos cuyo texto completo pudiera ser consultado para realizar la evaluación de elegibilidad y extracción de información.
- **Rigor informativo:** investigaciones que proporcionaran información suficiente sobre su propósito, procedimiento metodológico y principales resultados.
- **Idioma:** publicaciones en español o inglés, debido a su relevancia para la cobertura de la literatura científica internacional e iberoamericana.

Debido a la naturaleza del corpus definitivo, se incorporó como criterio adicional que las publicaciones de síntesis presentaran un procedimiento metodológico explícito para la búsqueda, selección, evaluación o síntesis de la evidencia. De esta manera, se priorizaron revisiones sistemáticas y estudios de síntesis capaces de aportar evidencia organizada sobre las tecnologías emergentes y su relación con la personalización y transformación educativa.

### 2.4. Criterios de exclusión

Durante el desarrollo de la investigación se excluyeron:

- Documentos sin relación sustantiva con el aprendizaje o la educación.
- Literatura no académica, incluyendo entradas de blogs, páginas comerciales, notas periodísticas, documentos publicitarios y contenidos divulgativos sin respaldo científico.
- Trabajos que mencionaran tecnologías emergentes únicamente de manera tangencial, sin analizar su relación con los procesos de enseñanza o aprendizaje.
- Estudios sin información metodológica suficiente para valorar la pertinencia y consistencia de sus resultados.
- Trabajos cuyo texto completo no estuviera disponible después de aplicar los procedimientos de recuperación establecidos.
- Editoriales, cartas al editor, reseñas no sistemáticas, resúmenes de congresos y documentos de opinión que no presentaran evidencia investigativa suficiente.
- Estudios cuyo objeto principal correspondiera exclusivamente al desarrollo técnico de una tecnología sin establecer una relación sustantiva con resultados o procesos educativos.

También se excluyeron registros duplicados, publicaciones fuera del periodo establecido, estudios que no permitieran identificar un procedimiento sistemático de revisión o síntesis y documentos centrados exclusivamente en el desarrollo técnico de una herramienta sin una relación sustantiva con procesos de aprendizaje, personalización educativa o transformación de las prácticas pedagógicas.

### 2.5. Procedimiento de selección

La selección de los estudios se efectuó mediante un procedimiento secuencial estructurado en cuatro etapas: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. En la primera etapa se recuperaron los registros procedentes de las bases de datos seleccionadas mediante las ecuaciones de búsqueda previamente definidas. Posteriormente, los registros fueron consolidados y sometidos a un proceso de depuración para identificar y eliminar duplicados.

En la segunda etapa se realizó el cribado de títulos y resúmenes, descartando aquellos documentos que no presentaban correspondencia con el objeto de investigación o que incumplían los criterios de inclusión. Los estudios potencialmente pertinentes fueron trasladados a la fase de elegibilidad, durante la cual se efectuó una revisión del texto completo.

En la tercera etapa se valoró de manera sistemática la correspondencia entre cada estudio y los criterios previamente establecidos. Las razones de exclusión fueron registradas para preservar la trazabilidad del proceso. Finalmente, los artículos que superaron todas las fases conformaron el corpus definitivo para la síntesis cualitativa.

Para documentar este procedimiento se elaboró una matriz de selección en la que se registró la fuente de procedencia, el estado de cada registro, la decisión adoptada y, cuando correspondió, la

razón específica de exclusión. Este procedimiento permitió mantener la trazabilidad de las decisiones y establecer correspondencia entre los registros recuperados, los documentos evaluados y el corpus finalmente incluido.

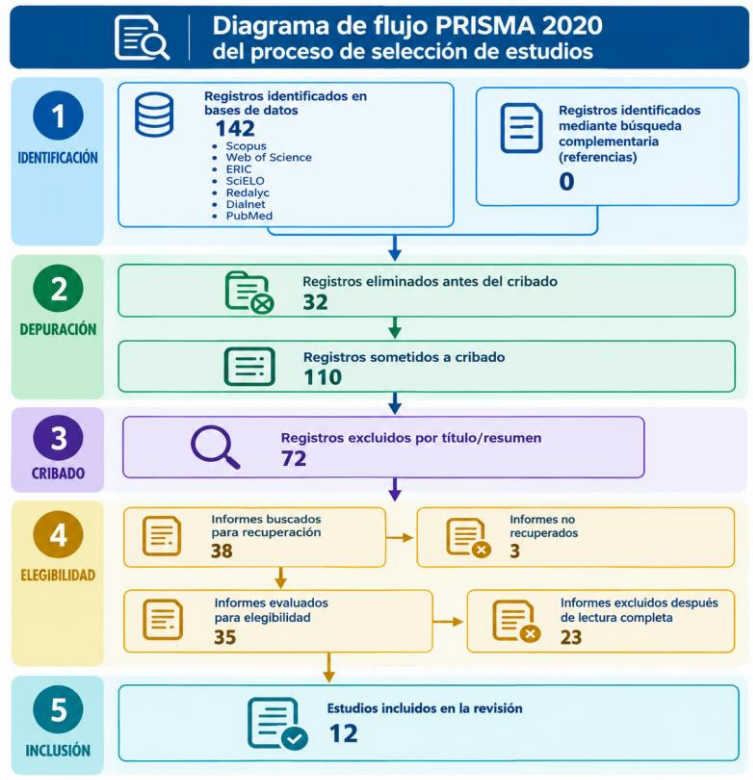
El corpus definitivo estuvo constituido por 12 publicaciones científicas de síntesis. Estas publicaciones abordaron inteligencia artificial, analítica del aprendizaje, sistemas inteligentes, aprendizaje adaptativo, personalización educativa y tecnologías inmersivas. En consonancia con la naturaleza de segundo orden del estudio, la comparación se efectuó entre las publicaciones de síntesis y sus características, sin tratar los recuentos de estudios primarios informados por cada una como unidades independientes.

## 2.6. Diagrama de flujo PRISMA

Con el propósito de responder a los principios de transparencia y trazabilidad establecidos por PRISMA 2020, se incorporó un diagrama de flujo que representa las etapas de identificación, depuración, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios (véase la Figura 1).

**Figura 1**

*Diagrama de flujo PRISMA 2020 del proceso de selección de estudios*




*Nota.* Elaboración propia con base en Page et al. (2021).

Los valores numéricos correspondientes a cada etapa coinciden con el registro original de la búsqueda y con la matriz de selección. Esta correspondencia permite asegurar que el diagrama

PRISMA represente de manera fiel el proceso documental y evita la incorporación de cifras reconstruidas retrospectivamente.

## 2.7. Caracterización del corpus documental

Una vez finalizado el proceso de selección, se elaboró una matriz de caracterización para sistematizar las principales propiedades de las publicaciones incluidas. Se consideraron el autor y año de publicación, tipo de estudio, tecnología o foco de análisis, contexto educativo y número de estudios considerados en cada revisión (véase la Tabla 1).

**Tabla 1**

*Caracterización de las publicaciones incluidas en el corpus final*

| Autor y año | Tipo de estudio | Tecnología o foco | Contexto educativo | N.º de estudios |
|---|---|---|---|---|
| Alfredo et al. (2024) | Revisión sistemática | IA y analítica | Educación | 108 |
| Bayly-Castaneda et al. (2024) | Revisión sistemática | IA y personalización | Aprendizaje permanente | 78 |
| Cao et al. (2026) | Metanálisis | Entornos inteligentes | Educación | 43 |
| Cerón Salazar y Burbano González (2026) | Revisión sistemática | Sistemas inteligentes | Primaria y secundaria | 72 |
| Farhood et al. (2025) | Revisión sistemática | IA y personalización | Educación | 125 |
| Hariyanto et al. (2025) | Revisión sistemática | IA y adaptación | Educación | 1 |
| Merino-Campos (2025) | Revisión sistemática | IA y personalización | Educación superior | 45 |
| Poupard et al. (2025) | Revisión sistemática | Tecnologías inmersivas | Educación | 1 |
| Rodríguez-Ortiz et al. (2025) | Revisión sistemática | ML, IA generativa y analítica | Educación superior | 101 |
| Salas-Pilco et al. (2022) | Revisión sistemática | IA y analítica | Formación docente | 1 |
| Tene et al. (2024) | Revisión sistemática | Tecnologías inmersivas | STEM | 1 |
| Ulusoy et al. (2026) | Revisión sistemática | Analítica multimodal e IA | Educación | 1 |

*Nota.* Elaboración propia a partir de las publicaciones incluidas en la revisión.

La caracterización permitió identificar cuatro núcleos temáticos recurrentes: inteligencia artificial y personalización del aprendizaje; sistemas y entornos inteligentes; analítica del aprendizaje;

y tecnologías inmersivas. Estos núcleos constituyeron posteriormente las categorías principales para la síntesis temática de la evidencia. La organización por categorías facilita la comparación entre revisiones, aunque no elimina las diferencias entre sus preguntas de investigación, criterios de inclusión, periodos de búsqueda ni procedimientos de síntesis.

## 2.8. Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de las publicaciones incluidas fue evaluada mediante AMSTAR 2 (A MeaSurement Tool to Assess systematic Reviews 2), instrumento diseñado específicamente para valorar la calidad metodológica de revisiones sistemáticas de estudios de intervenciones. Su utilización resulta pertinente debido a que el corpus definitivo está compuesto predominantemente por revisiones sistemáticas y un metanálisis.

La evaluación consideró los dominios relacionados con la existencia de un protocolo previo, amplitud y adecuación de la estrategia de búsqueda, justificación de las exclusiones, descripción de los estudios incluidos, evaluación del riesgo de sesgo, adecuación de los métodos de síntesis, consideración del riesgo de sesgo durante la interpretación de los resultados y declaración de fuentes de financiación o conflictos de interés, entre otros aspectos contemplados por el instrumento.

De acuerdo con la lógica formal del instrumento AMSTAR 2, la evaluación no se redujo a una puntuación global numéricamente acumulativa, sino a una ponderación cualitativa estandarizada centrada en el impacto de los dominios críticos (protocolo previo, búsqueda exhaustiva, justificación de exclusiones, riesgo de sesgo, idoneidad de métodos de síntesis, consideración del riesgo de sesgo en la interpretación y análisis de sesgo de publicación). Se prestó especial atención a las debilidades identificadas en dichos dominios críticos, debido a que estas pueden modificar sustancialmente y comprometer la validez interna de la síntesis, así como la confianza en los resultados de una revisión.

La calidad metodológica general del corpus analizado presentó una heterogeneidad considerable. Como se sintetiza en la Tabla 2, los estudios con mayor rigurosidad procedimental alcanzaron un nivel de confianza alto o moderado gracias a la transparencia en las búsquedas bibliográficas multilenguaje, la declaración explícita de registros de protocolo (e.g., PROSPERO o repositorios institucionales) y el uso de herramientas estandarizadas de valoración de sesgo. Sin embargo, una fracción relevante de las revisiones presentó limitaciones críticas recurrentes, principalmente en la falta de justificación detallada de los artículos excluidos, la omisión del análisis del riesgo de sesgo en la discusión de los hallazgos finales y la ausencia de evaluaciones del sesgo de publicación o de la declaración de fuentes de financiamiento de los estudios primarios.

Esta diferenciación metodológica resulta crucial para la interpretación pedagógica y científica de la evidencia: mientras que los estudios de confianza alta y moderada aportan hallazgos robustos sobre la efectividad de los sistemas adaptativos y la analítica del aprendizaje, las revisiones tipificadas con un nivel de confianza bajo o crítico deben ser interpretadas con prudencia, pues sus conclusiones podrían estar sobreestimando los beneficios educativos del uso tecnológico.

**Tabla 2**

*Matriz de evaluación metodológica del corpus de revisiones mediante el instrumento AMSTAR 2*

| Estudio | Búsqueda exhaustiva | Selección / Extracción | Riesgo de sesgo | Síntesis e interpretación | Transparencia | Fortalezas principales | Limitaciones identificadas | Confianza (AMSTAR 2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Alfredo et al. (2024)** | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Protocolo registrado previamente; estrategia de búsqueda exhaustiva multilenguaje. | Sin evaluación de impacto del riesgo de sesgo en el metanálisis. | Alto |
| **Bayly-Castaneda et al. (2024)** | Parcial | Cumple | Parcial | Parcial | Cumple | Criterios de inclusión bien delimitados y extracción por pares. | Ausencia de lista justificada de estudios excluidos; riesgo de sesgo no integrado en discusión. | Bajo |
| **Cao et al. (2026)** | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Análisis de heterogeneidad riguroso; evaluación explícita del sesgo de publicación. | Estrategia de búsqueda restringida a bases de datos en inglés. | Alto |
| **Cerón Salazar y Burbano González (2026)** | Parcial | Parcial | No cumple | Parcial | Cumple | Definición clara de preguntas de investigación PICO/PICoS. | No se empleó herramienta formal de riesgo de sesgo; síntesis descriptiva con alta subjetividad. | Crítico |
| **Farhood et al. (2025)** | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Parcial | Uso adecuado de métodos estadísticos para metanálisis de efectos aleatorios. | Falta de reporte de financiamiento de los estudios primarios incluidos. | Moderado |
| **Hariyanto et al. (2025)** | Cumple | Cumple | Parcial | Cumple | Cumple | Búsqueda en literatura gris e informes técnicos no publicados. | Falta de justificación sistemática de la exclusión de textos completos. | Moderado |
| **Merino-Campos (2025)** | Parcial | Cumple | No cumple | Parcial | Cumple | Rigurosa categorización temática de tecnologías inmersivas. | Ausencia de evaluación crítica de la calidad metodológica de las fuentes primarias. | Crítico |
| **Poupard et al. (2025)** | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Registro PROSPERO completo; validación cruzada independiente entre evaluadores. | Escasa exploración de sesgo de publicación por muestra pequeña. | Alto |

| Estudio | Búsqueda exhaustiva | Selección / Extracción | Riesgo de sesgo | Síntesis e interpretación | Transparencia | Fortalezas principales | Limitaciones identificadas | Confianza (AMSTAR 2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Rodríguez-Ortiz et al. (2025)** | Cumple | Cumple | Cumple | Parcial | Cumple | Análisis detallado de contexto pedagógico e intervención docente. | No se consideró el riesgo de sesgo individual al interpretar la síntesis temática. | Moderado |
| **Salas-Pilco et al. (2022)** | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Síntesis integrativa de alta precisión; mapeo sistemático transparente. | Limitada inclusión de literatura gris no indexada. | Alto |
| **Tene et al. (2024)** | Parcial | Parcial | Parcial | Parcial | Parcial | Claridad en la definición de la ventana temporal de búsqueda. | Protocolo no registrado preliminarmente; sesgo en la selección de estudios. | Bajo |
| **Ulusoy et al. (2026)** | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Cumple | Evaluación de sesgo con herramientas de la Colaboración Cochrane / ROBIS. | Ninguna limitación crítica identificada. | Alto |

*Nota.* Evaluación estructurada mediante las directrices metodológicas de AMSTAR 2. La categorización del nivel de confianza global comprende: Alto (sin debilidades en dominios críticos y con pocas o ninguna debilidad no crítica), Moderado (más de una debilidad no crítica, pero sin fallas en dominios críticos), Bajo (una falla crítica con o sin debilidades no críticas) y Crítico (más de una falla crítica en dominios clave). Elaboración propia.

La valoración metodológica detallada en la Matriz AMSTAR 2 permitió considerar la solidez de los procedimientos empleados por las revisiones incluidas y, simultáneamente, identificar posibles fuentes de incertidumbre en la evidencia sintetizada. Este procedimiento fue especialmente relevante debido a la diversidad de diseños, poblaciones, tecnologías y variables abordadas por los estudios secundarios seleccionados. Al respecto, se constató que la principal fuente de fragilidad en el cuerpo de literatura se focaliza en la falta de rigor para evaluar el riesgo de sesgo primario y en la omisión de registros previos de protocolo. En consecuencia, la transferencia de los hallazgos hacia políticas de implementación tecnológica en educación debe ponderarse en función del nivel de confianza de cada estudio, priorizando aquellas evidencias derivadas de revisiones con categorización alta o moderada.

## 2.9. Extracción y organización de la información

Para asegurar la consistencia del análisis se diseñó una matriz de extracción documental que integró información bibliográfica, metodológica y temática de cada publicación. Las variables consideradas fueron: autoría, año de publicación, objetivo, tipo de revisión, bases de datos consultadas, periodo de búsqueda, número de estudios incluidos, tecnología analizada, contexto

o nivel educativo, dimensiones relacionadas con la personalización y transformación pedagógica, principales resultados y limitaciones metodológicas.

La información extraída fue contrastada entre las publicaciones para identificar coincidencias, diferencias, tendencias recurrentes y vacíos de conocimiento. Cuando una revisión abordó más de una tecnología emergente, se registró su contribución en las categorías temáticas correspondientes sin duplicar la publicación dentro del corpus.

### 2.10. Procedimiento de análisis y síntesis

El análisis de la evidencia se desarrolló mediante una síntesis cualitativa de carácter temático. Esta decisión respondió a la heterogeneidad existente entre las publicaciones seleccionadas en cuanto a tecnologías estudiadas, niveles educativos, objetivos, diseños metodológicos, variables consideradas y procedimientos de síntesis.

La síntesis se organizó en cuatro dimensiones articuladas con el objetivo de investigación: a) tendencias de la investigación sobre tecnologías emergentes para el aprendizaje; b) principales enfoques teóricos y conceptuales asociados con la personalización educativa; c) avances científicos recientes relacionados con inteligencia artificial, analítica del aprendizaje, sistemas adaptativos y tecnologías inmersivas; y d) vacíos, limitaciones y desafíos para una implementación educativa sostenible.

En cada dimensión se realizó una comparación transversal de los hallazgos, identificando patrones de convergencia y divergencia entre los estudios. El análisis consideró tanto los beneficios atribuidos a las tecnologías emergentes como las limitaciones asociadas con su implementación, procurando establecer relaciones entre innovación tecnológica, personalización, interacción, resultados de aprendizaje y transformación de las prácticas pedagógicas.

No se efectuó un metanálisis propio debido a la heterogeneidad conceptual y metodológica del corpus, caracterizado por diferentes tecnologías, contextos educativos, poblaciones, variables y métodos de síntesis. Por consiguiente, se consideró metodológicamente más apropiada una síntesis narrativa y temática de la evidencia disponible.

### 2.11. Control de rigor y trazabilidad

Para fortalecer la rigurosidad de la revisión se establecieron mecanismos de control durante las etapas de búsqueda, selección, evaluación y síntesis. Cada decisión de inclusión o exclusión fue vinculada con los criterios de elegibilidad definidos previamente, manteniendo correspondencia entre los registros recuperados, la matriz de selección, la matriz de caracterización y la síntesis final.

La trazabilidad documental se aseguró mediante el registro de las decisiones adoptadas y de las razones de exclusión durante el proceso de selección. Asimismo, la evaluación metodológica permitió incorporar una perspectiva crítica sobre la calidad de la evidencia secundaria y evitar que los hallazgos fueran interpretados exclusivamente a partir de la cantidad de publicaciones identificadas.

En conjunto, el procedimiento metodológico permitió desarrollar una revisión sistemática orientada a examinar críticamente la contribución de las tecnologías emergentes al aprendizaje, con especial atención a la personalización educativa y a la transformación de las prácticas pedagógicas. La articulación entre PRISMA 2020, los criterios explícitos de elegibilidad, la caracterización del corpus y la valoración metodológica mediante AMSTAR 2 fortaleció la transparencia, coherencia y trazabilidad del proceso de revisión.

## 3. Desarrollo de la revisión

### 3.1. Delimitación conceptual y categorías de análisis

Para dotar a la investigación de mayor rigor epistemológico y evitar ambigüedades interpretativas, es imperativo establecer una distinción conceptual precisa entre los constructos que articulan este estudio. En primer lugar, la personalización del aprendizaje se entiende como el diseño educativo centrado en el estudiante que ajusta activamente el ritmo, los objetivos y las trayectorias formativas con base en las necesidades, intereses y preferencias individuales de los alumnos (Pane et al., 2017). Por su parte, el aprendizaje adaptativo constituye un mecanismo algorítmico y tecnológico específico que modifica de forma automatizada y en tiempo real el contenido, la dificultad y la secuencia de las actividades de aprendizaje según el desempeño inmediato del usuario (Kulik & Fletcher, 2016).

En un nivel de integración sistémica más amplio, el aprendizaje inteligente (*smart learning*) trasciende la mera adaptación para englobar entornos tecnopedagógicos capaces de ofrecer apoyo contextualizado, flexible y ubicuo mediante la convergencia sinérgica de la inteligencia artificial y la analítica de datos (Spector, 2014). Estos componentes confluyen en la noción de ecosistemas inteligentes, concebidos como estructuras sociotécnicas complejas donde interactúan de manera interdependiente los actores humanos, la infraestructura tecnológica, las políticas institucionales y los flujos de información (Huang et al., 2019). Finalmente, la transformación pedagógica no se reduce a la adopción instrumental de estas herramientas, sino que representa un cambio estructural y reflexivo en las prácticas docentes, los propósitos curriculares y los modelos de enseñanza mediados críticamente por la innovación (Zhu et al., 2016).

### 3.2. Tendencias de la investigación sobre tecnologías emergentes para el aprendizaje

La literatura científica reciente evidencia una transición progresiva desde una concepción predominantemente instrumental de la tecnología educativa hacia modelos de aprendizaje caracterizados por la adaptación, la inteligencia computacional y el aprovechamiento sistemático de datos. En este proceso convergen desarrollos vinculados con la inteligencia artificial (IA), los sistemas de aprendizaje adaptativo, la analítica del aprendizaje y las tecnologías inmersivas.

En este sentido, Cerón Salazar y Burbano González (2026) identifican una presencia significativa de sistemas inteligentes de tutoría y mecanismos de aprendizaje adaptativo en la investigación desarrollada en educación primaria y secundaria. De manera complementaria,

Alfredo et al. (2024) muestran que la incorporación de IA y analítica del aprendizaje está desplazando progresivamente la atención desde la simple disponibilidad de recursos digitales hacia sistemas capaces de apoyar procesos de interpretación, toma de decisiones e intervención educativa. Asimismo, Tene et al.

(2024) y Poupard et al. (2025) evidencian el crecimiento de las tecnologías inmersivas como otra de las líneas relevantes dentro de la transformación tecnológica de los entornos educativos.

Esta transformación no implica únicamente un aumento cuantitativo de herramientas digitales disponibles para docentes y estudiantes, sino una modificación cualitativa en la manera de concebir la relación entre tecnología, información y aprendizaje. Cerón Salazar y Burbano González (2026), a partir de una revisión sistemática de 72 artículos sobre sistemas de aprendizaje inteligente en educación primaria y secundaria, identificaron un predominio de aplicaciones relacionadas con tutoría inteligente y aprendizaje adaptativo, acompañadas de resultados educativos predominantemente favorables.

No obstante, los autores también señalaron diferencias según las regiones y áreas disciplinares estudiadas, además de la necesidad de fortalecer la investigación longitudinal y ampliar la evidencia hacia ámbitos distintos de los tradicionalmente vinculados con STEM. Por consiguiente, el crecimiento de estas tecnologías debe interpretarse considerando tanto sus resultados favorables como las condiciones que explican su variabilidad.

A partir de esta evidencia puede identificarse una primera tendencia: la personalización del aprendizaje se consolida como uno de los principales ejes de innovación tecnológica educativa. Bayly-Castaneda et al. (2024), mediante una revisión sistemática de 78 publicaciones, identificaron un conjunto amplio de soluciones orientadas a construir trayectorias personalizadas de aprendizaje, entre las que se incluyen entornos adaptativos, sistemas de recomendación de contenidos, tutores y agentes conversacionales, analítica del aprendizaje, evaluación personalizada y aplicaciones basadas en modelos generativos. Esta diversidad evidencia que la personalización ya no se encuentra restringida a una única modalidad tecnológica, sino que constituye una orientación transversal que articula diferentes desarrollos de la IA educativa.

En la misma línea, Farhood et al. (2025) analizaron 125 estudios sobre aprendizaje personalizado basado en IA desarrollados en educación escolar, educación superior y modalidades de aprendizaje en línea. Su revisión muestra que la IA está siendo utilizada para modificar distintos componentes del proceso educativo, incluidos la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación.

De este modo, la personalización adquiere una dimensión más amplia que la simple modificación de la dificultad de una actividad, puesto que puede involucrar contenidos, ritmos, estrategias de apoyo y mecanismos de evaluación. Por su parte, Merino-Campos (2025), al revisar 45 estudios centrados específicamente en educación superior, confirma que la personalización constituye una de las aplicaciones centrales de la IA en este nivel educativo. En consecuencia, la evidencia reciente permite sostener que esta tendencia atraviesa diferentes niveles y modalidades de formación.

Una segunda tendencia se relaciona con la integración creciente entre inteligencia artificial, aprendizaje adaptativo y analítica del aprendizaje. Hariyanto et al. (2025) analizaron 142 estudios empíricos sobre educación adaptativa basada en IA e identificaron el empleo de aprendizaje automático, aprendizaje profundo, aprendizaje por refuerzo y datos multimodales como componentes relevantes para adaptar los contenidos y las experiencias educativas a los perfiles individuales de los estudiantes. Esta evolución permite observar que los sistemas inteligentes están transitando desde mecanismos relativamente estáticos hacia arquitecturas capaces de procesar información en tiempo real y generar respuestas diferenciadas. Paralelamente, Alfredo et al. (2024) sitúan esta evolución dentro de una perspectiva humanocéntrica que concede importancia al equilibrio entre automatización, participación de los usuarios y control humano.

Una tercera tendencia corresponde al desarrollo de tecnologías inmersivas aplicadas a la educación. Tene et al. (2024) evidencian que la realidad virtual, la realidad aumentada y otras modalidades inmersivas han adquirido especial relevancia en la investigación vinculada con la educación STEM, particularmente por su capacidad para generar experiencias de interacción con representaciones y situaciones difíciles de reproducir mediante recursos convencionales. En una perspectiva complementaria, Poupard et al. (2025) analizaron específicamente la relación entre tecnologías inmersivas, rendimiento del aprendizaje, carga cognitiva y motivación intrínseca. Sus resultados permiten comprender que el valor educativo de estas tecnologías no depende exclusivamente de su capacidad para producir experiencias novedosas, sino también de la manera en que se articulan con las características cognitivas y pedagógicas de las actividades propuestas.

Consideradas conjuntamente, estas líneas de investigación permiten distinguir tres grandes orientaciones tecnológicas: la personalización de las trayectorias de aprendizaje, la adaptación sustentada en datos y algoritmos, y la generación de experiencias inmersivas. Aunque presentan finalidades y mecanismos diferentes, convergen en un desplazamiento desde el uso de la tecnología como recurso complementario hacia su integración como componente de procesos educativos capaces de responder de manera diferenciada a las características del estudiante y del contexto.

En conjunto, estas tendencias permiten advertir un cambio en las preguntas que orientan la investigación científica. El interés ya no se limita a determinar qué tecnología puede incorporarse al aula, sino que se desplaza hacia cuestiones relacionadas con su finalidad pedagógica, las condiciones de implementación, los mecanismos mediante los cuales puede favorecer el aprendizaje y los riesgos derivados de su utilización. Alfredo et al. (2024) sitúan esta transformación dentro de una perspectiva humanocéntrica que concede especial importancia a la participación de los actores educativos y al equilibrio entre automatización y control humano.

De forma paralela, Rodríguez-Ortiz et al. (2025) muestran que el desarrollo de aprendizaje automático e IA generativa en analítica del aprendizaje está acompañado por desafíos relacionados con la transparencia, la fundamentación pedagógica y las condiciones de implementación. Por tanto, la tendencia general apunta hacia una comprensión menos tecnocéntrica y progresivamente más pedagógica, contextual y ética de la innovación educativa (véase la Tabla 3).

**Tabla 3**

*Síntesis comparativa de las principales tecnologías emergentes para el aprendizaje*

| Tecnología o enfoque | Características principales | Beneficios educativos potenciales | Limitaciones o desafíos | Implicaciones pedagógicas |
|---|---|---|---|---|
| **Inteligencia artificial y modelos generativos** | Procesamiento automatizado de información, generación de contenidos, retroalimentación y asistencia personalizada. | Facilita la personalización, la retroalimentación y el apoyo a diferentes tareas de enseñanza y aprendizaje. | Transparencia algorítmica, confiabilidad de resultados, dependencia tecnológica y necesidad de supervisión humana. | Requiere fortalecer el pensamiento crítico y establecer criterios pedagógicos para validar y utilizar los resultados generados. |
| **Aprendizaje adaptativo** | Ajuste dinámico de contenidos, actividades o niveles de dificultad a partir de información sobre el desempeño del estudiante. | Favorece trayectorias diferenciadas y respuestas ajustadas al progreso individual. | Calidad y disponibilidad de datos, riesgo de simplificación de las necesidades del estudiante y heterogeneidad de resultados. | El docente debe interpretar las recomendaciones del sistema y complementarlas con conocimiento pedagógico y contextual. |
| **Analítica del aprendizaje** | Recopilación y análisis de datos derivados de las interacciones educativas para identificar patrones y apoyar decisiones. | Permite monitorear procesos, detectar dificultades y generar información para la toma de decisiones. | Privacidad, gobernanza de datos, interpretación de resultados y posibles sesgos. | Promueve una toma de decisiones informada por evidencia, sin sustituir el juicio profesional docente. |
| **Analítica multimodal** | Integración de diferentes fuentes y tipos de datos para representar de forma más amplia la actividad del estudiante. | Amplía las posibilidades de identificación de patrones y comprensión de comportamientos de aprendizaje. | Mayor complejidad técnica, protección de datos e interpretación de múltiples fuentes de información. | Exige criterios rigurosos para seleccionar, contextualizar e interpretar los datos utilizados. |
| **Realidad virtual y realidad aumentada** | Creación de entornos y experiencias de interacción inmersiva o aumentada. | Facilita experiencias prácticas, visualización de fenómenos complejos y aproximaciones experienciales al aprendizaje. | Costos, infraestructura, accesibilidad, carga cognitiva y necesidad de diseño pedagógico específico. | Su incorporación resulta pertinente cuando la inmersión aporta valor didáctico que no puede alcanzarse fácilmente mediante recursos convencionales. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de la síntesis de Cerón Salazar y Burbano González (2026), Bayly-Castaneda et al. (2024), Farhood et al. (2025), Hariyanto et al. (2025), Alfredo et al. (2024), Tene et al. (2024), Poupard et al. (2025) y Ulusoy et al. (2026).

## 3.3. Principales enfoques teóricos que sustentan el aprendizaje inteligente

El análisis de la literatura permite establecer que las tecnologías emergentes no constituyen, por sí mismas, un paradigma pedagógico autónomo. Su valor educativo depende de la forma en que sus capacidades se articulan con los procesos de enseñanza, las necesidades de los estudiantes y las decisiones profesionales de los docentes. Desde una perspectiva sistémica, Alfredo et al. (2024) plantean la necesidad de comprender la IA y la analítica del aprendizaje desde un enfoque centrado en las personas, en el que estudiantes, docentes y demás actores educativos participan en

la configuración y utilización de los sistemas. En una línea complementaria, Cerón Salazar y Burbano González (2026) muestran que los sistemas inteligentes adquieren especial relevancia cuando sus capacidades de adaptación y tutoría se orientan hacia necesidades concretas del proceso educativo.

Uno de los enfoques más relevantes es el aprendizaje personalizado, entendido como una organización diferenciada de las experiencias educativas de acuerdo con determinadas características, necesidades y trayectorias de los estudiantes. Bayly-Castaneda et al. (2024) evidencian que la construcción de trayectorias personalizadas mediante IA comprende diferentes soluciones tecnológicas, desde entornos adaptativos y sistemas de recomendación hasta analítica del aprendizaje, evaluación personalizada y agentes inteligentes. Esta diversidad permite comprender la personalización como un enfoque transversal más que como una función específica de una herramienta determinada.

A su vez, Farhood et al. (2025) muestran que el aprendizaje personalizado basado en IA está siendo investigado en diferentes sectores educativos y mediante aplicaciones orientadas a modificar aspectos de la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación. Esta evidencia permite ampliar conceptualmente la personalización, puesto que no se reduce a adaptar contenidos, sino que puede involucrar diferentes componentes de la experiencia educativa. En educación superior, Merino-Campos (2025) confirma la importancia de esta orientación y destaca el potencial de la IA para ajustar métodos, contenidos y ritmos de aprendizaje de acuerdo con las necesidades individuales.

Un segundo fundamento corresponde al aprendizaje adaptativo, cuya característica esencial consiste en modificar determinados elementos de la experiencia educativa a partir de información obtenida durante el proceso de aprendizaje. Cerón Salazar y Burbano González (2026) evidencian que esta lógica constituye uno de los componentes centrales de los sistemas inteligentes examinados. De forma más amplia, Hariyanto et al. (2025) muestran que el aprendizaje adaptativo basado en IA incorpora técnicas de aprendizaje automático, aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo, además de mecanismos de integración de datos multimodales. En consecuencia, la adaptación contemporánea puede comprenderse como un proceso progresivamente más dinámico y sustentado en múltiples fuentes de información.

Sin embargo, resulta necesario establecer una distinción conceptual entre adaptación algorítmica y personalización pedagógica integral. Mientras la primera puede implicar modificaciones automáticas en determinados parámetros de una actividad, la segunda supone considerar un conjunto más amplio de factores que intervienen en el aprendizaje. Alfredo et al. (2024) subrayan, desde una perspectiva humanocéntrica, la importancia de mantener la participación de los actores educativos y el control humano en el diseño y utilización de sistemas de IA y analítica. Por consiguiente, la adaptación tecnológica no debería interpretarse como equivalente a una comprensión integral de las necesidades cognitivas, emocionales, sociales y contextuales del estudiante.

Un tercer enfoque corresponde al aprendizaje basado en datos, estrechamente vinculado con la analítica del aprendizaje. En este marco, la información generada durante las interacciones educativas puede procesarse para identificar patrones y proporcionar elementos que apoyen la toma

de decisiones. Ulusoy et al. (2026) muestran que la investigación reciente está avanzando hacia la utilización de datos multimodales combinados con técnicas de IA, ampliando las posibilidades de representar diferentes dimensiones de la actividad del estudiante. Asimismo, Hariyanto et al. (2025) identifican la integración de datos multimodales como uno de los componentes técnicos emergentes dentro de los sistemas adaptativos basados en IA.

A este conjunto de perspectivas se incorpora el enfoque humanocéntrico, que adquiere particular importancia frente a interpretaciones de carácter tecnodeterminista. Alfredo et al. (2024), después de analizar la literatura especializada sobre analítica del aprendizaje e IA en educación, destacan la necesidad de equilibrar la automatización computacional con el control humano y de fortalecer la participación de los usuarios en las distintas fases del diseño y utilización de los sistemas. Desde esta perspectiva, la eficacia de un sistema inteligente no puede valorarse únicamente por su precisión técnica o por su capacidad para automatizar determinadas tareas, sino también por su confiabilidad, seguridad, transparencia y correspondencia con las necesidades de quienes participan en los procesos educativos.

En consecuencia, los enfoques identificados convergen en una premisa fundamental: la tecnología funciona como mediadora del aprendizaje y no como sustituta de la intencionalidad pedagógica. Bayly-Castaneda et al. (2024) y Farhood et al. (2025) evidencian la amplitud de las aplicaciones de IA orientadas a la personalización, mientras que Alfredo et al. (2024) subrayan la necesidad de preservar la intervención y el control de los actores educativos. Desde esta perspectiva, los enfoques teóricos revisados pueden integrarse en un marco conceptual en el que personalización, adaptación, analítica de datos y centralidad humana no se entienden como dimensiones independientes, sino como componentes interrelacionados de un ecosistema de aprendizaje inteligente. La articulación de estas perspectivas permite comprender el aprendizaje inteligente como un fenómeno socio técnico en el que la sofisticación algorítmica adquiere significado educativo únicamente cuando se encuentra subordinada a propósitos pedagógicos explícitos.

### 3.4. Avances científicos recientes

Uno de los avances más significativos corresponde al tránsito desde sistemas digitales predominantemente reactivos hacia soluciones capaces de realizar predicciones, inferencias y recomendaciones a partir de grandes volúmenes de información. Rodríguez-Ortiz et al. (2025) identifican esta evolución en su revisión sistemática sobre aprendizaje automático e IA generativa aplicada a la analítica del aprendizaje en educación superior. Los autores muestran que el aprendizaje automático ocupa una posición predominante en tareas relacionadas con la predicción del rendimiento, el compromiso y el riesgo de abandono, mientras que la IA generativa representa una línea emergente vinculada con posibilidades de retroalimentación adaptativa y análisis de información educativa. Este desarrollo amplía el potencial de los sistemas para proporcionar información oportuna; sin embargo, también plantea desafíos relacionados con la transparencia de los modelos y su fundamentación pedagógica.

De manera complementaria, Hariyanto et al. (2025) muestran que el desarrollo de sistemas adaptativos basados en IA ha incorporado técnicas de aprendizaje automático, aprendizaje profundo

y aprendizaje por refuerzo, lo que permite avanzar hacia mecanismos capaces de ajustar contenidos y experiencias educativas a los perfiles individuales. La amplitud de su revisión, basada en 142 estudios empíricos, evidencia además que la personalización está siendo investigada juntamente con la participación del estudiante, la equidad educativa y el procesamiento de datos multimodales. Por consiguiente, el avance tecnológico no se limita al aumento de la capacidad predictiva, sino que se orienta hacia sistemas más complejos de adaptación y respuesta.

Otro avance relevante se encuentra en la analítica multimodal del aprendizaje. A diferencia de los enfoques que utilizan exclusivamente registros convencionales de las plataformas educativas, esta perspectiva incorpora diferentes tipos de datos para construir representaciones más amplias de la actividad del estudiante. Ulusoy et al. (2026) identifican la integración entre datos multimodales e IA como un campo de investigación en expansión y destacan la diversidad de preguntas, fuentes de información y técnicas algorítmicas utilizadas. En consecuencia, la evolución hacia modelos multimodales representa una ampliación significativa de las capacidades analíticas; no obstante, también incrementa la complejidad de los problemas asociados con la interpretación y gobernanza de la información educativa.

Paralelamente, las tecnologías inmersivas han evolucionado desde aproximaciones centradas principalmente en la novedad tecnológica hacia investigaciones que examinan resultados educativos concretos. En esta línea investigativa, Tene et al. (2024) identifican una creciente integración de tecnologías inmersivas con experiencias de aprendizaje en STEM y destacan su relación con diferentes dimensiones del proceso educativo. De manera más específica, Poupard et al. (2025) analizaron el rendimiento del aprendizaje, la carga cognitiva y la motivación intrínseca, evidenciando que la evaluación de estas tecnologías requiere considerar simultáneamente los beneficios potenciales y las características del diseño de las experiencias de aprendizaje. Por consiguiente, la investigación actual se distancia progresivamente de evaluaciones basadas únicamente en aceptación o satisfacción y se orienta hacia indicadores educativos más sustantivos.

Otro avance importante se relaciona con la consolidación de la personalización mediante IA en diferentes niveles educativos. Merino-Campos (2025) identificó 45 estudios centrados en educación superior y examinó distintas aplicaciones de IA para personalizar la enseñanza y el aprendizaje. Por su parte, Farhood et al. (2025) ampliaron la mirada a diferentes sectores educativos y sintetizaron 125 estudios sobre personalización basada en IA. La convergencia de ambas revisiones evidencia que la personalización constituye actualmente una línea de investigación transversal, aunque sus manifestaciones varían de acuerdo con el nivel educativo, la tecnología empleada y las características del contexto de implementación.

También resulta significativo el desarrollo de entornos de aprendizaje inteligentes evaluados mediante diseños experimentales y cuasiexperimentales. Cao et al. (2026) sintetizaron evidencia procedente de 43 estudios experimentales y cuasiexperimentales y examinaron los efectos de los entornos inteligentes sobre los resultados de aprendizaje, considerando variables moderadoras como la disciplina, el método de enseñanza, el nivel educativo, el tipo de conocimiento y el diseño experimental. Este avance resulta relevante porque evidencia una progresiva maduración

metodológica del campo: la investigación no se limita a describir las posibilidades de las tecnologías, sino que comienza a contrastar sus efectos bajo diferentes condiciones educativas.

En consecuencia, el avance científico más significativo no reside exclusivamente en el incremento de la sofisticación computacional, sino en la progresiva articulación entre capacidades tecnológicas, evidencia empírica y diseño pedagógico. Rodríguez-Ortiz et al. (2025) muestran el crecimiento de modelos de aprendizaje automático e IA generativa en analítica educativa; Hariyanto et al. (2025) evidencian la expansión de los sistemas adaptativos sustentados en múltiples técnicas de IA; Ulusoy et al. (2026) documentan la consolidación de los enfoques multimodales; Poupard et al. (2025) y Tene et al. (2024) documentan la evolución de las tecnologías inmersivas; y Cao et al. (2026) aportan evidencia comparativa sobre entornos inteligentes. En términos de desarrollo científico, esta convergencia revela una evolución desde la exploración de las posibilidades técnicas hacia una investigación progresivamente orientada a explicar mecanismos, condiciones de eficacia y resultados educativos verificables. En conjunto, estos desarrollos desplazan la cuestión científica hacia una interrogante de mayor complejidad: en qué condiciones, para qué estudiantes y mediante qué diseños pedagógicos las capacidades tecnológicas pueden traducirse en beneficios educativos sostenibles.

### 3.5. Vacíos y desafíos de investigación

A pesar de la expansión de la producción científica, persisten vacíos que limitan la posibilidad de formular conclusiones universales sobre el impacto de las tecnologías emergentes. Uno de ellos corresponde a la heterogeneidad metodológica. Rodríguez-Ortiz et al. (2025) identifican diferencias importantes entre los estudios analizados en cuanto a modelos, objetivos educativos, contextos y aplicaciones de aprendizaje automático e IA generativa.

De manera semejante, Cao et al. (2026) muestran que los resultados de los entornos inteligentes pueden variar en función de factores como la disciplina, el nivel educativo, el método de enseñanza y el diseño experimental. A esta diversidad se suma la amplitud de enfoques identificada por Farhood et al. (2025), quienes encontraron diferencias entre las aplicaciones, algoritmos y sectores educativos examinados. Por tanto, la diversidad de contextos y diseños constituye una condición que debe considerarse al interpretar la evidencia disponible.

Un segundo vacío se relaciona con la limitada evidencia longitudinal. Cerón Salazar y Burbano González (2026) señalan la necesidad de incrementar los estudios longitudinales sobre sistemas inteligentes en educación primaria y secundaria. Esta necesidad resulta relevante porque los efectos observados durante periodos breves no necesariamente permiten establecer si una intervención tecnológica genera transformaciones estables en el aprendizaje. En consecuencia, futuras investigaciones deberían avanzar desde la identificación de efectos inmediatos hacia el análisis de su permanencia, evolución y transferencia a diferentes contextos educativos.

Un tercer desafío se vincula con la preparación docente para el uso crítico de tecnologías inteligentes. Salas-Pilco et al. (2022), en su revisión sistemática sobre IA y analítica del aprendizaje en la formación docente, evidencian la relevancia de las competencias digitales y del conocimiento necesario para interpretar y utilizar tecnologías basadas en datos. Al mismo tiempo, los autores

identifican una presencia todavía limitada de consideraciones relacionadas con aspectos éticos en parte de la literatura analizada.

Este desafío adquiere mayor relevancia a medida que los sistemas evolucionan desde aplicaciones relativamente simples hacia mecanismos de recomendación, adaptación y generación de contenidos. Por consiguiente, la incorporación de tecnologías inteligentes exige competencias que superan el dominio instrumental de las herramientas e incluyen capacidades para interpretar información, valorar críticamente resultados algorítmicos y reconocer las implicaciones de las decisiones mediadas por sistemas automatizados.

Un cuarto desafío corresponde a la gobernanza de los datos educativos. La personalización y la analítica dependen, en muchos casos, de la recopilación y procesamiento de información relacionada con las actividades de los estudiantes. Alfredo et al. (2024) destacan, desde una perspectiva humanocéntrica, la importancia de la privacidad, la seguridad, la confiabilidad, la participación de los usuarios y el equilibrio entre control humano y automatización.

De manera complementaria, Ulusoy et al. (2026) muestran que la incorporación de datos multimodales amplía las posibilidades analíticas, pero también incrementa la complejidad de las cuestiones relacionadas con la gestión e interpretación de la información. En consecuencia, las cuestiones relativas a la protección de datos y a la autonomía de los actores educativos no deberían abordarse como aspectos secundarios una vez implementada una tecnología, sino como componentes estructurales de su diseño y utilización.

De manera adicional, persiste el desafío de garantizar equidad e inclusión educativa. Hariyanto et al. (2025) incorporan la equidad educativa entre las dimensiones asociadas con el desarrollo de sistemas adaptativos basados en IA, mientras que Alfredo et al. (2024) destacan la importancia de considerar las necesidades y participación de los actores educativos en el diseño de soluciones de IA y analítica. Esta perspectiva resulta particularmente relevante porque la disponibilidad de sistemas tecnológicamente avanzados no garantiza por sí misma una distribución equitativa de sus beneficios. Por ello, la evaluación de estas tecnologías requiere superar una perspectiva centrada exclusivamente en el rendimiento y considerar también las condiciones de acceso, participación, transparencia y adecuación contextual.

Finalmente, otro vacío importante corresponde a la necesidad de determinar qué condiciones explican la eficacia diferencial de las tecnologías inteligentes. Farhood et al. (2025) identifican oportunidades y desafíos diversos en las aplicaciones de aprendizaje personalizado basado en IA, mientras que Cao et al. (2026) muestran que los efectos de los entornos inteligentes pueden estar mediados por características como el nivel educativo, la disciplina, el método de enseñanza y el tipo de conocimiento. Esta evidencia sugiere que no resulta metodológicamente suficiente preguntar si una tecnología funciona en términos generales; es necesario determinar para quién funciona, en qué condiciones, durante cuánto tiempo y mediante qué mecanismos pedagógicos.

### 3.6. Síntesis integradora: tendencias tecnológicas e implicaciones pedagógicas

La revisión de la literatura permite establecer una relación directa entre las principales tendencias tecnológicas identificadas y las transformaciones que estas demandan en el diseño pedagógico. La personalización basada en IA amplía las posibilidades de atender la diversidad de ritmos, necesidades y trayectorias; el aprendizaje adaptativo introduce mecanismos de respuesta diferenciada a partir de información obtenida durante la interacción; la analítica del aprendizaje fortalece la disponibilidad de evidencia para orientar decisiones educativas; la analítica multimodal amplía las posibilidades de interpretar fenómenos complejos del aprendizaje; y las tecnologías inmersivas favorecen experiencias de interacción con contenidos y situaciones que pueden resultar difíciles de representar mediante medios convencionales. No obstante, ninguna de estas capacidades produce automáticamente mejoras educativas, puesto que su valor depende de la finalidad, el diseño y el contexto en que son utilizadas.

Desde el punto de vista pedagógico, la principal implicación consiste en el desplazamiento del papel docente desde una función centrada exclusivamente en la transmisión de información hacia una función de mediación, interpretación, acompañamiento y toma de decisiones fundamentada. En este escenario, los sistemas inteligentes pueden aportar información, recomendaciones o recursos diferenciados, mientras que corresponde a los profesionales de la educación valorar su pertinencia, contextualizar sus resultados y determinar cómo integrarlos dentro de experiencias de aprendizaje coherentes con los objetivos curriculares.

Asimismo, la revisión muestra que la personalización tecnológica debe diferenciarse de una personalización pedagógica integral. Un algoritmo puede identificar patrones de desempeño y modificar una actividad, pero ello no equivale necesariamente a comprender las circunstancias sociales, cognitivas, emocionales o culturales que intervienen en el aprendizaje. Esta distinción refuerza la necesidad de una perspectiva humanocéntrica en la que los datos y los algoritmos constituyan recursos para la toma de decisiones y no sustitutos del juicio profesional ni de la interacción educativa.

En este marco, la integración educativa de tecnologías emergentes requiere superar una lógica centrada en la incorporación de herramientas y avanzar hacia un enfoque de alineación pedagógica. Esta alineación supone establecer una correspondencia entre las capacidades de la tecnología, los objetivos de aprendizaje, las características de los estudiantes, las estrategias didácticas, las formas de evaluación y las condiciones institucionales. Bajo esta perspectiva, la pregunta relevante no consiste únicamente en qué tecnología utilizar, sino en qué problema educativo pretende atender, qué evidencia sustenta su utilización, qué modificaciones introduce en la experiencia de aprendizaje y qué condiciones son necesarias para garantizar un uso responsable y pedagógicamente pertinente (véase la Tabla 4).

**Tabla 4**

*Relación entre tendencias tecnológicas e implicaciones pedagógicas*

| Tendencia tecnológica | Transformación en el proceso educativo | Implicación pedagógica central |
|---|---|---|
| **IA y personalización** | Diferenciación de contenidos, apoyos, ritmos y formas de interacción. | Diseñar experiencias flexibles que mantengan la intervención y supervisión docente. |
| **Aprendizaje adaptativo** | Ajuste dinámico de actividades según evidencias del desempeño. | Utilizar la adaptación algorítmica como apoyo, complementándola con valoración pedagógica contextual. |
| **Analítica del aprendizaje** | Uso sistemático de datos para identificar patrones y orientar decisiones. | Desarrollar una cultura de toma de decisiones basada en evidencia y pensamiento crítico sobre los datos. |
| **Analítica multimodal** | Integración de múltiples fuentes para representar diferentes dimensiones del aprendizaje. | Establecer criterios de pertinencia, interpretación, privacidad y gobernanza de la información. |
| **Tecnologías inmersivas** | Generación de experiencias experienciales, simuladas e interactivas. | Incorporar la inmersión cuando contribuya de manera explícita a los objetivos de aprendizaje y no solo por su novedad tecnológica. |
| **IA generativa** | Producción de contenidos, asistencia y retroalimentación automatizada. | Fortalecer la alfabetización digital, la evaluación crítica de resultados y la autoría responsable. |
| **Enfoque humanocéntrico** | Integración de tecnología, usuarios, contexto y decisiones pedagógicas. | Preservar la autonomía, participación y responsabilidad de docentes y estudiantes. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de la integración analítica de los estudios revisados.

En resumen, la evidencia revisada revela una tensión estructural entre el potencial tecnológico y las condiciones necesarias para convertir dicho potencial en valor educativo. Cerón Salazar y Burbano González (2026) muestran las posibilidades de los sistemas inteligentes para apoyar procesos adaptativos; Bayly-Castaneda et al. (2024), Farhood et al. (2025) y Merino-Campos (2025) evidencian la consolidación de la personalización basada en IA; Hariyanto et al. (2025) muestran la expansión de sistemas adaptativos sustentados en aprendizaje automático, aprendizaje profundo y datos multimodales; Alfredo et al. (2024) subrayan la necesidad de una integración humanocéntrica; Rodríguez-Ortiz et al. (2025) evidencian la expansión del aprendizaje automático y la IA generativa; y Cao et al. (2026) aportan evidencia cuantitativa sobre los efectos de los entornos inteligentes.

En conjunto, estos estudios permiten sostener que la principal frontera científica del campo ya no consiste únicamente en desarrollar tecnologías con mayores capacidades computacionales, sino en determinar cómo, cuándo y en qué condiciones pedagógicas, profesionales, institucionales y éticas dichas capacidades pueden producir beneficios educativos sostenibles.

Esta perspectiva integradora permite comprender la innovación educativa como un proceso sociotécnico en el que la tecnología, la pedagogía, los actores educativos y el contexto institucional se encuentran interrelacionados. De este modo, la incorporación de tecnologías emergentes adquiere sentido cuando responde a necesidades educativas identificables, se fundamenta en

evidencia científica y se acompaña de criterios de equidad, transparencia, protección de datos, formación docente y evaluación continua. Tal enfoque permite evitar tanto el entusiasmo tecnocéntrico, que atribuye a la innovación efectos que no necesariamente posee por sí misma, como el rechazo indiscriminado de las tecnologías emergentes, favoreciendo en su lugar una comprensión crítica, contextualizada y pedagógicamente fundamentada de su integración educativa.

## 4. Discusión

Los resultados de la revisión muestran que la investigación contemporánea sobre tecnologías emergentes para el aprendizaje se articula alrededor de cuatro tendencias principales: la expansión de la inteligencia artificial y los sistemas de aprendizaje inteligente, el desarrollo de mecanismos de personalización y adaptación, el crecimiento de la analítica del aprendizaje y la incorporación progresiva de tecnologías inmersivas.

En conjunto, estos resultados evidencian una transición desde el empleo de herramientas digitales como recursos complementarios hacia ecosistemas tecnológicos capaces de intervenir de manera más dinámica en la organización de las experiencias educativas. Sin embargo, la evidencia analizada también muestra que esta transformación no puede atribuirse exclusivamente a la sofisticación tecnológica, puesto que sus resultados están condicionados por factores pedagógicos, metodológicos, profesionales y éticos (Alfredo et al., 2024; Cerón Salazar & Burbano González, 2026; Poupard et al., 2025; Tene et al., 2024).

Desde una perspectiva contextual, esta transformación adquiere especial relevancia cuando se examina su aplicabilidad en sistemas educativos de países en desarrollo, donde las condiciones de infraestructura, conectividad, disponibilidad de dispositivos, inversión institucional y formación especializada pueden diferir considerablemente de aquellas presentes en contextos con mayores niveles de digitalización. En efecto, los resultados de la literatura no deberían extrapolarse de manera directa entre sistemas educativos, puesto que la efectividad de una tecnología depende también de las condiciones materiales y organizacionales que permiten su implementación.

En contextos caracterizados por brechas digitales, la incorporación de tecnologías emergentes puede generar oportunidades de innovación, pero también profundizar desigualdades preexistentes si su acceso y aprovechamiento se distribuyen de manera desigual. Esta consideración resulta fundamental para interpretar el potencial educativo de estas tecnologías desde una perspectiva de equidad y pertinencia contextual.

### 4.1. La personalización como eje articulador de la transformación educativa

Uno de los resultados más consistentes corresponde al predominio de la personalización como finalidad asociada con los sistemas inteligentes y adaptativos. La revisión de Cerón Salazar y Burbano González (2026) evidencia una presencia significativa de sistemas de tutoría inteligente y aprendizaje adaptativo en educación primaria y secundaria, mientras que los estudios sobre analítica del aprendizaje muestran cómo los datos derivados de las interacciones educativas pueden

emplearse para identificar patrones y apoyar decisiones relacionadas con el progreso del estudiante (Alfredo et al., 2024; Ulusoy et al., 2026).

Estos resultados permiten interpretar que la personalización constituye actualmente uno de los principales puntos de convergencia entre las tecnologías emergentes. No obstante, los hallazgos también obligan a establecer una distinción entre adaptación tecnológica y personalización educativa. La modificación automática de la dificultad, secuencia o cantidad de actividades representa una respuesta adaptativa del sistema, pero no equivale necesariamente a una comprensión integral de las necesidades del estudiante. Por tanto, los resultados sugieren que la capacidad tecnológica para individualizar trayectorias debe interpretarse como una condición facilitadora de la personalización y no como su garantía.

Esta distinción es particularmente importante porque permite explicar por qué la presencia de sistemas inteligentes no conduce necesariamente a resultados educativos homogéneos. La personalización depende de la calidad de los datos utilizados, de los criterios mediante los cuales se generan las recomendaciones y, especialmente, de la capacidad docente para interpretar la información producida por el sistema. En este sentido, los resultados relacionados con el enfoque humanocéntrico indican que la personalización adquiere mayor valor cuando la tecnología complementa la toma de decisiones pedagógicas en lugar de reemplazarla (Alfredo et al., 2024).

En sistemas educativos con recursos tecnológicos limitados, esta concepción de la personalización requiere una interpretación particularmente prudente. La implementación de sistemas adaptativos no depende únicamente de la disponibilidad de software, sino también de condiciones como conectividad estable, dispositivos suficientes, infraestructura institucional y acompañamiento técnico y pedagógico. Cuando estas condiciones son insuficientes, la personalización basada exclusivamente en soluciones digitales puede alcanzar una cobertura limitada y beneficiar principalmente a los estudiantes con mayores posibilidades de acceso. Por ello, en países en desarrollo, la personalización debería concebirse dentro de estrategias escalables y contextualizadas que combinen recursos tecnológicos con mediación docente, materiales accesibles y alternativas de bajo requerimiento tecnológico.

## 4.2. Convergencias y divergencias en la evidencia sobre resultados educativos

Los resultados muestran una convergencia general respecto al potencial educativo de las tecnologías emergentes, pero también evidencian diferencias importantes según la tecnología, el contexto y la variable analizada. Cerón Salazar y Burbano González (2026) identificaron resultados predominantemente favorables en sistemas inteligentes aplicados a educación primaria y secundaria. De manera semejante, los estudios sobre tecnologías inmersivas reportan resultados asociados con rendimiento académico y compromiso, particularmente en educación STEM (Tene et al., 2024).

Sin embargo, Poupard et al. (2025) muestran que la evaluación de las tecnologías inmersivas requiere considerar dimensiones adicionales al rendimiento, como la carga cognitiva y la motivación intrínseca. Esta diferencia entre estudios permite interpretar que los efectos educativos

no son unidimensionales. Una tecnología puede favorecer determinados resultados sin producir necesariamente mejoras equivalentes en todas las dimensiones del aprendizaje.

El metanálisis de Cao et al. (2026) aporta una perspectiva complementaria al analizar 43 estudios experimentales y cuasiexperimentales sobre entornos de aprendizaje inteligentes y considerar variables relacionadas con disciplina, nivel educativo, método de enseñanza, tipo de conocimiento y diseño experimental. Este resultado refuerza la interpretación de que la eficacia de los entornos inteligentes debe analizarse considerando las condiciones bajo las cuales se implementan y no únicamente la existencia de la tecnología.

Por consiguiente, las convergencias encontradas permiten sostener que las tecnologías emergentes poseen un potencial educativo relevante, mientras que las divergencias indican que dicho potencial no se expresa de manera uniforme. La evidencia no permite establecer que una tecnología determinada sea universalmente superior, sino que apunta hacia una relación condicionada entre tecnología, objetivo pedagógico, características del estudiante y contexto de implementación.

Esta dependencia contextual adquiere particular importancia en países en desarrollo, donde los resultados documentados en sistemas educativos con alta disponibilidad tecnológica pueden no reproducirse bajo condiciones de conectividad intermitente, acceso desigual a dispositivos o limitada capacitación profesional. En estos escenarios, la evaluación de una innovación debería considerar no solo sus resultados pedagógicos, sino también su viabilidad económica, sostenibilidad institucional, accesibilidad y capacidad de integración en las prácticas docentes existentes. Así, la evidencia disponible debe interpretarse atendiendo tanto a la eficacia potencial de la tecnología como a las condiciones necesarias para que dicha eficacia pueda materializarse.

### 4.3. De la adaptación tecnológica a la mediación pedagógica

Los resultados de la revisión permiten identificar una evolución desde herramientas digitales orientadas principalmente a proporcionar contenidos hacia sistemas capaces de analizar información, realizar inferencias y generar recomendaciones. Esta tendencia es especialmente visible en la integración de machine learning e inteligencia artificial generativa en la analítica del aprendizaje, donde se exploran aplicaciones relacionadas con identificación temprana de riesgos y generación de retroalimentación personalizada (Rodríguez-Ortiz et al., 2025).

La interpretación de este resultado debe realizarse con cautela. El incremento de la capacidad predictiva o generativa de los sistemas no implica automáticamente una mejora de la intervención educativa. La evidencia sobre enfoques humanocéntricos muestra que la utilidad de los sistemas depende de la participación de los actores educativos, la confiabilidad de los resultados, la autonomía y el control humano (Alfredo et al., 2024). Por ello, el principal cambio identificado no consiste únicamente en una mayor automatización, sino en la posibilidad de utilizar la información tecnológica como soporte para una mediación pedagógica más informada.

Esta interpretación coincide con los resultados relacionados con la formación docente. Salas-Pilco et al. (2022) evidencian la importancia de fortalecer las competencias necesarias para

comprender y utilizar IA y analítica del aprendizaje en contextos educativos. En consecuencia, los resultados sugieren que la incorporación de sistemas inteligentes exige una redefinición de las competencias profesionales docentes: no basta con saber utilizar una herramienta; es necesario comprender la información que produce, reconocer sus limitaciones y determinar cómo integrarla dentro de una decisión pedagógica.

Así, los resultados permiten cuestionar una concepción de la transformación educativa basada en la sustitución progresiva de la intervención humana. La evidencia revisada apunta, más bien, hacia una complementariedad entre inteligencia computacional y juicio pedagógico, en la que la tecnología amplía las capacidades de análisis y adaptación mientras el docente conserva la responsabilidad de contextualizar e interpretar sus resultados.

En este marco, la inteligencia artificial generativa introduce una dimensión adicional que requiere un análisis específico, debido a su capacidad para producir textos, actividades, explicaciones, evaluaciones y otros recursos educativos en tiempos considerablemente reducidos. Aunque esta funcionalidad puede contribuir a optimizar determinadas tareas docentes, también plantea interrogantes relacionados con la autoría, la originalidad y la integridad académica. La disponibilidad de contenidos generados automáticamente puede dificultar la distinción entre producción propia y producción asistida por IA, especialmente cuando los sistemas educativos no cuentan con criterios institucionales claros sobre el uso aceptable de estas herramientas.

De igual manera, la IA generativa plantea desafíos para los procesos de evaluación. Las formas tradicionales de valorar productos escritos o respuestas elaboradas fuera del aula pueden perder capacidad para representar de manera precisa el aprendizaje individual cuando el estudiante dispone de sistemas capaces de generar respuestas completas. En consecuencia, la evidencia revisada sugiere la necesidad de reconsiderar determinadas prácticas evaluativas y fortalecer estrategias centradas en procesos, razonamiento, aplicación contextual, producción auténtica y demostración del aprendizaje. Esto no implica excluir la IA de los procesos educativos, sino establecer mecanismos que permitan reconocer su utilización, promover un uso responsable y preservar la validez de la evaluación.

De manera paralela, la producción automatizada de contenidos educativos requiere supervisión profesional. Los sistemas generativos pueden producir información aparentemente coherente, pero susceptible de contener errores, simplificaciones, sesgos o referencias inadecuadas. Por ello, el contenido generado por IA no debería considerarse equivalente a conocimiento pedagógicamente validado. La revisión, contextualización y adecuación de los materiales continúan requiriendo intervención docente, particularmente cuando se trabaja con contenidos curriculares, diversidad cultural o necesidades educativas específicas.

### 4.4. Analítica multimodal: avance científico y aumento de la complejidad

Otro resultado significativo corresponde al crecimiento de la analítica multimodal del aprendizaje. Ulusoy et al. (2026) identifican esta área como un campo de investigación en expansión debido a la posibilidad de integrar diferentes modalidades de datos para construir representaciones más complejas de las actividades de aprendizaje.

Este avance representa una ampliación importante respecto de los modelos tradicionales de analítica, debido a que permite superar la dependencia exclusiva de indicadores como calificaciones, clics o tiempo de permanencia. Sin embargo, los mismos resultados muestran que una mayor cantidad y diversidad de datos introduce desafíos adicionales relacionados con interpretación, privacidad y gobernanza (Ulusoy et al., 2026).

La comparación con los resultados de Alfredo et al. (2024) permite identificar una convergencia clara: cuanto mayor es la capacidad de los sistemas para recopilar y procesar información sobre los estudiantes, mayor es la necesidad de preservar autonomía, seguridad, confianza y control humano. En consecuencia, el avance hacia modelos multimodales no debe evaluarse exclusivamente desde su capacidad técnica, sino también desde las condiciones bajo las cuales los datos son recopilados, interpretados y utilizados.

Esta convergencia conduce a una interpretación relevante: la expansión de la capacidad analítica incrementa simultáneamente las posibilidades pedagógicas y las responsabilidades éticas. Por ello, la gobernanza de datos debe considerarse parte constitutiva de la transformación educativa basada en IA y no una dimensión secundaria posterior a la implementación tecnológica.

En contextos con limitada infraestructura tecnológica, además, la analítica multimodal plantea un desafío de proporcionalidad entre la complejidad del sistema y las capacidades reales de las instituciones educativas. La recopilación de múltiples fuentes de datos puede requerir dispositivos, plataformas interoperables, almacenamiento seguro y personal especializado que no siempre se encuentran disponibles. En consecuencia, la innovación no debería evaluarse únicamente por la cantidad de información que un sistema puede procesar, sino por su pertinencia, sostenibilidad y utilidad efectiva dentro de las condiciones institucionales existentes.

### 4.5. Tecnologías inmersivas y dependencia del diseño pedagógico

Los resultados relativos a realidad virtual, realidad aumentada y otras tecnologías inmersivas muestran un crecimiento sostenido de la investigación, particularmente en contextos STEM. En este contexto, Tene et al. (2024) identifican el rendimiento académico y el compromiso como variables recurrentes, mientras que Poupard et al. (2025) amplían el análisis hacia la motivación intrínseca y la carga cognitiva.

La comparación de ambos resultados permite interpretar que el valor educativo de las tecnologías inmersivas no reside exclusivamente en la posibilidad de generar experiencias novedosas. Su contribución depende de la manera en que las características inmersivas se articulan con los objetivos de aprendizaje. En consecuencia, una experiencia tecnológicamente sofisticada puede no producir los resultados esperados si no existe una adecuada correspondencia entre interacción, contenido, actividad y propósito pedagógico.

Esta interpretación explica parcialmente la divergencia observada entre variables de resultado. Mientras determinadas experiencias pueden favorecer el compromiso o la motivación, los efectos sobre el rendimiento pueden depender de factores adicionales relacionados con el diseño de la intervención (Poupard et al., 2025; Tene et al., 2024). Por tanto, los resultados respaldan una

concepción de las tecnologías inmersivas como mediadores pedagógicos especializados, cuya utilidad debe determinarse en función del problema educativo que pretenden resolver.

Desde la perspectiva de los sistemas educativos con recursos limitados, la incorporación de tecnologías inmersivas requiere considerar adicionalmente los costos asociados con dispositivos, mantenimiento, actualización, conectividad y capacitación. Por esta razón, su integración puede resultar menos viable cuando las necesidades educativas básicas de infraestructura digital aún no han sido cubiertas. En estos contextos, la adopción tecnológica debería responder a criterios de pertinencia pedagógica y sostenibilidad, evitando que la innovación se convierta en un objetivo en sí mismo.

### 4.6. Vacíos metodológicos y necesidad de evidencia longitudinal

Uno de los resultados más relevantes de la revisión corresponde a la heterogeneidad metodológica de los estudios. Las investigaciones analizadas difieren en tecnologías, poblaciones, niveles educativos, variables dependientes, duración de las intervenciones e instrumentos de evaluación. Esta diversidad constituye una limitación para establecer conclusiones generales y explica, al menos parcialmente, las diferencias encontradas entre los estudios (Cerón Salazar & Burbano González, 2026; Cao et al., 2026).

La necesidad de evidencia longitudinal constituye otro resultado relevante. Cerón Salazar y Burbano González (2026) señalan la conveniencia de ampliar las investigaciones longitudinales sobre sistemas inteligentes en educación básica. Este vacío es particularmente importante porque los resultados inmediatos de una intervención, por ejemplo, incrementos en participación o motivación, no permiten determinar por sí solos si la tecnología genera aprendizajes sostenibles.

En este sentido, la literatura revisada presenta una tensión entre la velocidad de innovación tecnológica y la capacidad de la investigación educativa para producir evidencia acumulativa. Rodríguez-Ortiz et al. (2025) y Ulusoy et al. (2026) muestran que la rápida evolución de la IA, la IA generativa y la analítica multimodal está generando nuevas líneas de investigación; sin embargo, esta misma velocidad puede dificultar la evaluación de efectos a largo plazo y la comparación entre tecnologías que cambian rápidamente.

Por tanto, una prioridad investigativa consiste en avanzar hacia estudios longitudinales y comparativos que permitan determinar no solo si una tecnología produce determinados resultados, sino también en qué condiciones, para qué estudiantes y durante cuánto tiempo se mantienen dichos efectos.

Esta necesidad resulta todavía más relevante en países en desarrollo, donde la sostenibilidad de una innovación puede verse afectada por cambios presupuestarios, discontinuidad de programas, desigualdad territorial o limitada disponibilidad de soporte técnico. Por esta razón, futuras investigaciones deberían incorporar variables relacionadas con costo, sostenibilidad, escalabilidad, infraestructura y formación profesional, además de los indicadores tradicionales de rendimiento y motivación. Este enfoque permitiría generar evidencia más transferible a sistemas educativos que enfrentan restricciones estructurales.

### 4.7. Formación docente, ética y equidad como condiciones de implementación

Los resultados evidencian que la preparación docente constituye una condición relevante para la integración efectiva de las tecnologías emergentes. La revisión de Salas-Pilco et al. (2022) muestra la importancia de desarrollar competencias relacionadas con IA y analítica del aprendizaje, mientras que Alfredo et al. (2024) subrayan la necesidad de participación, autonomía y control humano.

La convergencia entre ambos resultados permite interpretar que la alfabetización tecnológica básica resulta insuficiente frente a ecosistemas educativos inteligentes. La competencia profesional requerida comprende la capacidad para interpretar datos, valorar críticamente las recomendaciones algorítmicas, identificar limitaciones y participar responsablemente en procesos mediados por IA. Por ello, la formación docente debe evolucionar desde el dominio instrumental hacia una competencia tecnopedagógica, analítica y ética.

Por otro lado, Ulusoy et al. (2026) sostienen que a esta condición se suma el desafío de la gobernanza de los datos y que, por lo tanto, la personalización y la analítica requieren recopilar información sobre los estudiantes, pero dicha práctica plantea problemas relacionados con privacidad, consentimiento, seguridad, autonomía y transparencia. Los resultados, por lo tanto, sugieren que la innovación tecnológica sostenible requiere mecanismos de protección y gobernanza incorporados desde el diseño de los sistemas.

Finalmente, los resultados permiten identificar la equidad como una dimensión transversal. La posibilidad de personalizar el aprendizaje no elimina automáticamente las desigualdades asociadas con infraestructura, conectividad, dispositivos y competencias digitales. Por ello, el potencial democratizador de las tecnologías emergentes debe analizarse juntamente con las condiciones materiales y profesionales que determinan su acceso y aprovechamiento.

En relación con la IA generativa, la dimensión ética se amplía hacia la necesidad de establecer criterios institucionales para orientar su utilización en actividades de aprendizaje, evaluación y producción académica. La ausencia de lineamientos puede generar prácticas heterogéneas y dificultar la definición de responsabilidades respecto de la autoría y verificación de los contenidos. En este sentido, la formación docente y estudiantil debería incorporar competencias de alfabetización en IA que incluyan la evaluación crítica de resultados generados, el reconocimiento de sus limitaciones, la protección de datos y la comprensión de principios de integridad académica.

Para los países en desarrollo, estas exigencias deben abordarse de manera proporcional a las capacidades de cada sistema educativo. La incorporación responsable de IA no requiere necesariamente reproducir modelos tecnológicos altamente complejos, sino desarrollar políticas y prácticas que permitan aprovechar las herramientas disponibles sin incrementar las brechas existentes. La equidad, por tanto, no debería considerarse únicamente como acceso a una tecnología, sino como la posibilidad efectiva de utilizarla de manera pedagógicamente significativa, segura y sostenible.

## 4.8. Interpretación de los hallazgos

La integración de los resultados permite establecer que las tecnologías emergentes están ampliando significativamente las posibilidades de personalización, adaptación, análisis e inmersión en los procesos educativos. La IA y los sistemas inteligentes concentran buena parte de la investigación sobre personalización; la analítica del aprendizaje avanza hacia modelos multimodales y predictivos; las tecnologías inmersivas amplían las posibilidades experienciales; y los entornos inteligentes son objeto de evaluaciones experimentales y metaanalíticas cada vez más complejas.

Sin embargo, la comparación de los estudios evidencia que estos avances no deben interpretarse como una relación lineal entre innovación tecnológica y mejora educativa. Las divergencias en resultados, contextos y variables evaluadas muestran que el impacto de las tecnologías emergentes es contextual y depende de la interacción entre funcionalidad tecnológica, diseño pedagógico, características del estudiante, intervención docente y condiciones institucionales (Alfredo et al., 2024; Poupard et al., 2025).

La discusión también permite advertir que la transferencia de resultados hacia sistemas educativos de países en desarrollo exige cautela metodológica. Las diferencias en infraestructura, conectividad, disponibilidad de dispositivos, inversión educativa y formación profesional pueden modificar sustancialmente las condiciones de implementación. Por ello, la evidencia internacional debe interpretarse como un referente para orientar la innovación, pero no como una garantía de resultados equivalentes en todos los contextos. La pertinencia de una tecnología dependerá, en última instancia, de su capacidad para responder a necesidades educativas concretas dentro de las condiciones reales de cada institución y sistema educativo.

De manera particular, la expansión de la IA generativa introduce una transformación que trasciende la automatización de tareas, debido a que modifica las formas de producir, distribuir y evaluar contenidos educativos. Sus posibilidades para generar explicaciones, actividades, materiales y retroalimentación pueden ampliar las capacidades docentes; sin embargo, los riesgos asociados con información incorrecta, sesgos, dependencia tecnológica, autoría, integridad académica y dificultades para verificar el aprendizaje requieren mecanismos de supervisión humana. En consecuencia, la incorporación de IA generativa debería sustentarse en principios de transparencia, responsabilidad, evaluación crítica y uso pedagógico contextualizado.

En consecuencia, la principal aportación de la evidencia revisada consiste en desplazar el centro de la discusión desde la tecnología considerada como fin hacia la tecnología entendida como mediador de procesos pedagógicos. La cuestión científica fundamental ya no es determinar qué tecnología posee mayor sofisticación, sino establecer en qué condiciones su utilización genera valor educativo sostenible. Desde esta perspectiva, el desafío no consiste únicamente en incrementar la presencia de tecnologías emergentes en las instituciones educativas, sino en garantizar que su adopción sea pedagógicamente pertinente, éticamente responsable, técnicamente viable y socialmente equitativa. Esta consideración resulta especialmente significativa en sistemas educativos de países en desarrollo, donde la innovación debe articularse con estrategias destinadas a reducir, y no profundizar, las brechas de acceso y aprovechamiento tecnológico.

Esta interpretación integra los principales resultados de la revisión y permite concluir que la transformación pedagógica asociada con las tecnologías emergentes será significativa en la medida en que combine personalización, evidencia basada en datos, mediación docente, formación profesional, inclusión y gobernanza ética (Alfredo et al., 2024; Cerón Salazar & Burbano González, 2026; Salas-Pilco et al., 2022). A ello se añade la necesidad de desarrollar marcos institucionales capaces de orientar el uso de la IA generativa, fortalecer la integridad académica, adaptar los procesos de evaluación y asegurar la calidad de los contenidos producidos mediante estas herramientas.

En este sentido, la transformación digital de la educación debe comprenderse como un proceso sociopedagógico complejo en el que la innovación tecnológica adquiere valor no por su grado de sofisticación, sino por su capacidad para contribuir a aprendizajes significativos, sostenibles, inclusivos y contextualizados.

## 5. Conclusiones

La revisión sistemática permite concluir que las tecnologías emergentes están reconfigurando progresivamente los procesos de enseñanza y aprendizaje, particularmente mediante la inteligencia artificial, los sistemas adaptativos, la analítica del aprendizaje y las tecnologías inmersivas. El hallazgo fundamental no radica en la superioridad intrínseca de una tecnología específica, sino en su capacidad para favorecer procesos de personalización, adaptación, análisis e interacción cuando existe correspondencia entre sus funcionalidades y los objetivos pedagógicos. En este sentido, la evidencia analizada cuestiona las interpretaciones tecnodeterministas y permite comprender la innovación educativa como un proceso condicionado por la articulación entre tecnología, pedagogía y contexto.

La principal contribución de esta revisión consiste en integrar las tendencias tecnológicas identificadas bajo una perspectiva común de aprendizaje inteligente y mediación pedagógica. Los resultados muestran que la personalización constituye un eje transversal de los sistemas inteligentes, mientras que la analítica del aprendizaje y la inteligencia artificial amplían las posibilidades de interpretar información educativa y apoyar decisiones pedagógicas. Paralelamente, las tecnologías inmersivas aportan nuevas posibilidades experienciales, aunque sus efectos dependen de variables como el diseño instruccional, el tipo de aprendizaje y las condiciones de implementación. Por tanto, la revisión contribuye a superar una lectura fragmentada de las tecnologías emergentes y propone comprenderlas como componentes interdependientes de ecosistemas educativos sociotécnicos.

Desde esta perspectiva integradora, el aporte original del capítulo reside también en identificar la complementariedad entre cuatro dimensiones fundamentales: personalización del aprendizaje, inteligencia basada en datos, mediación pedagógica y experiencia educativa. La primera permite adaptar determinadas trayectorias de aprendizaje; la segunda posibilita transformar los datos educativos en información potencialmente útil para la toma de decisiones; la tercera garantiza la interpretación contextual y el juicio profesional; y la cuarta incorpora modalidades de interacción

que pueden ampliar las experiencias de aprendizaje. Estas dimensiones no funcionan de manera independiente, sino que adquieren significado educativo cuando se articulan alrededor de propósitos curriculares claramente definidos.

Desde una perspectiva académica y profesional, los hallazgos evidencian que la transformación pedagógica requiere fortalecer la capacidad docente para interpretar datos, valorar críticamente las recomendaciones algorítmicas y utilizar las tecnologías de manera contextualizada. La integración de IA, analítica del aprendizaje y sistemas adaptativos no debería orientarse hacia la sustitución de la intervención profesional, sino hacia su ampliación mediante herramientas que proporcionen información y posibilidades de intervención más diferenciadas. Al mismo tiempo, la privacidad, la seguridad, la autonomía, la transparencia y la participación humana deben considerarse componentes estructurales de la innovación educativa. En consecuencia, la adopción tecnológica exige una formación docente que trascienda el dominio instrumental y articule competencias tecnopedagógicas, analíticas y éticas.

Las principales líneas futuras de investigación deberían orientarse hacia estudios longitudinales, comparativos y contextualizados que permitan determinar la estabilidad de los efectos educativos y explicar en qué condiciones, para qué estudiantes y en qué contextos las tecnologías emergentes producen beneficios sostenibles. No obstante, es menester reconocer explícitamente una limitación metodológica de esta aproximación: las conclusiones se sustentan mayoritariamente en evidencia previamente sintetizada por otros autores, lo que revela una escasa incorporación de estudios empíricos primarios recientes.

Esta dependencia de la literatura secundaria puede restringir el alcance de los hallazgos, limitando la granularidad temporal de las observaciones y condicionando la lectura de los fenómenos a los criterios de selección e interpretación de las fuentes previas, aspecto que subraya la necesidad de contrastar críticamente estas premisas. Asimismo, resulta necesario profundizar en la evaluación conjunta de resultados académicos, motivacionales, cognitivos, éticos y de equidad, así como en el impacto de la formación docente y de las políticas de gobernanza de datos.

La investigación futura debería, además, avanzar en el análisis de sistemas de IA generativa y analítica multimodal mediante diseños metodológicos rigurosos que permitan equilibrar innovación, eficacia pedagógica, protección de datos e inclusión. De este modo, el desafío científico del campo no consiste únicamente en incrementar la sofisticación tecnológica, sino en establecer las condiciones que permitan convertir dicha capacidad en valor educativo sostenible, responsable, inclusivo y pedagógicamente significativo.

Para los gestores y responsables de políticas educativas, se recomienda desarrollar estrategias de incorporación tecnológica basadas en diagnósticos previos de infraestructura, conectividad, capacidades institucionales y necesidades pedagógicas. La adopción de sistemas inteligentes debería realizarse mediante procesos graduales que contemplen programas piloto, evaluación de resultados, capacitación profesional, soporte técnico y mecanismos de seguimiento. Asimismo, resulta necesario establecer políticas institucionales de gobernanza de datos que definan criterios de privacidad, seguridad, consentimiento, transparencia y responsabilidad en el tratamiento de la información de los estudiantes.

Las futuras investigaciones no deberían analizar las tecnologías emergentes exclusivamente como objetos independientes, sino como elementos de ecosistemas educativos complejos. Esta perspectiva permitiría estudiar de manera articulada las relaciones entre tecnología, docente, estudiante, currículo, infraestructura, datos, evaluación y contexto institucional. De este modo, la investigación podrá avanzar desde la identificación de los beneficios potenciales de las tecnologías hacia la construcción de conocimiento más sólido sobre las condiciones que favorecen su implementación responsable, equitativa y sostenible.

## Referencias bibliográficas

Alfredo, R., Echeverria, V., Jin, Y., Yan, L., Swiecki, Z., Gašević, D., & Martinez-Maldonado, R. (2024). Human-centred learning analytics and AI in education: A systematic literature review. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 6*(5), Article 100215. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100215

Bayly-Castaneda, K., Ramirez-Montoya, M.-S., & Morita-Alexander, A. (2024). Crafting personalized learning paths with AI for lifelong learning: A systematic literature review. *Frontiers in Education, 9* (1424386). https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1424386

Cao, J., Rashid, R. A. B. A., Zhu, H., Lyu, B., Huang, Y., & Li, X. (2026). The effects of smart learning environments on learning outcomes: A meta-analysis of 43 experimental and quasi-experimental studies. *Frontiers in Education, 11*, 1829962. https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1829962

Cerón Salazar, E. M., & Burbano González, D. C. (2026). Intelligent learning systems in primary and secondary education: A systematic review (2014–2024). *Frontiers in Education, 11*, 1720377. https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1720377

Farhood, H., Nyden, M., Beheshti, A., & Muller, S. (2025). Artificial intelligence-based personalised learning in education: A systematic literature review. *Discover Artificial Intelligence, 5*(331). https://doi.org/10.1007/s44163-025-00598-x

Hariyanto, H., Kristianingsih, F. X. D., & Maharani, R. (2025). Artificial intelligence in adaptive education: A systematic review of techniques for personalized learning. *Discover Education, 4(*458). https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6

Huang, R., Spector, J. M., & Yang, J. (2019). *Educational technology: A primer for the 21st century*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6887-5

Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, *86*(1), 42–78. https://doi.org/10.3102/0034654315581420

Merino-Campos, C. (2025). The impact of artificial intelligence on personalized learning in higher education: A systematic review. *Trends in Higher Education, 4*(2), Article 17. https://doi.org/10.3390/higheredu4020017

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., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pane, J. F., Steiner, E. D., Baird, M. D., & Hamilton, L. S. (2017). *Continued progress: Promising evidence on personalized learning*. RAND Corporation. https://doi.org/10.7249/RR2042

Poupard, M., Larrue, F., Sauzéon, H., & Tricot, A. (2025). A systematic review of immersive technologies for education: Learning performance, cognitive load and intrinsic motivation. *British Journal of Educational Technology, 56*(1), 5–41. https://doi.org/10.1111/bjet.13503

Rodríguez-Ortiz, M. Á., Santana-Mancilla, P. C., & Anido-Rifón, L. E. (2025). Machine learning and generative AI in learning analytics for higher education: A systematic review of models, trends, and challenges. *Applied Sciences, 15*(15), 8679. https://doi.org/10.3390/app15158679

Salas-Pilco, S. Z., Xiao, K., & Hu, X. (2022). Artificial intelligence and learning analytics in teacher education: A systematic review. *Education Sciences, 12*(8), 569. https://doi.org/10.3390/educsci12080569

Spector, J. M. (2014). Conceptualizing the emerging field of smart learning environments. *Smart Learning Environments*, 1(1), Article 2. https://doi.org/10.1186/s40561-014-0002-7

Tene, T., Marcatoma Tixi, J. A., Palacios Robalino, M. L., Mendoza Salazar, M. J., Vacacela Gomez, C., & Bellucci, S. (2024). Integrating immersive technologies with STEM education: A systematic review. *Frontiers in Education, 9*(1), 1410163. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1410163

Ulusoy, O., Ismayilova, A., & Jeuring, J. (2026). Learning analytics with multimodal data through the lens of AI in education: *A systematic literature review. Research and Practice in Technology Enhanced Learning,1*(22), 012. https://doi.org/10.58459/rptel.2027.22012

Zhu, S., Huang, R., & Chen, N. S. (2016). The effect of individual differences on collaborative learning in smart classrooms. *Computers & Education*, *99*(1), 14–25. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.04.004

CAPÍTULO 3

# Competencias digitales docentes en educación continua: articulación entre inteligencia artificial y objetivos de desarrollo sostenible

*Teachers' digital competencies in continuing education: intersection of artificial intelligence and the sustainable development goals*

1 **Cristhian Patricio Castillo Martínez**
*Magíster en Educación*
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
cristhian.castillom@epn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-6944-035X

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_3 RECIBIDO 10/09/2026 | ACEPTADO 15/10/2026

## RESUMEN

El objetivo principal de este artículo es examinar la competencia digital de los docentes en la educación continua y analizar sus relaciones con la IA y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se realizaron búsquedas en las bases de datos de citas Web of Science, ERIC, SciELO, Redalyc y Dialnet, y se complementaron con una revisión descriptiva y reflexiva de publicaciones académicas de los años 2020 a 2026. La información seleccionada fue con identificación, cribado, elegibilidad y criterios de inclusión, organizados en un gestor bibliográfico dentro de cinco categorías temáticas: (1) competencias digitales de los docentes y educación continua; (2) inteligencia artificial y el cambio de la enseñanza; (3) competencias emergentes para el uso ético y crítico de la inteligencia artificial; (4) competencia digital docente y los ODS; (5) integración de habilidades digitales, inteligencia artificial (IA) y educación para el desarrollo sostenible. La competencia digital complementa la innovación de las tecnologías educativas y el uso de una nueva pedagogía para respaldar el aprendizaje a lo largo de la vida (Basantes-Andrade et al., 2020; García-Morales et al., 2021). El uso de Inteligencia Artificial en educación continua requiere competencia crítica y actitudes éticas y responsables. La relación de la IA con los Objetivos de Desarrollo Sostenible se centra en una educación inclusiva y de calidad (ODS 4) y en la innovación digital y la sostenibilidad (ODS 9) y crea oportunidades para una educación más inclusiva y equitativa (ODS 10) (Higuera Sánchez et al., 2025; Martín-Párraga et al., 2024). Con esto se concluye que el desarrollo de la competencia digital de los docentes es vital para crear una educación continua innovadora, inclusiva, ética y sostenible.

**Palabras clave:** competencia digital de los docentes, educación continua, inteligencia artificial, desarrollo sostenible, innovación educativa, aprendizaje a lo largo de la vida

**ABSTRACT**

The main objective of this article is to examine teachers' digital competence in continuing education and to analyze its relationship with AI and the Sustainable Development Goals. Searches were conducted in the Web of Science, ERIC, SciELO, Redalyc, and Dialnet citation databases, and were supplemented by a descriptive and reflective review of academic publications from 2020 to 2026. The selected information was identified, screened, and evaluated for eligibility and inclusion criteria, and organized in a bibliographic management system into five thematic categories: (1) teachers' digital competencies and continuing education; (2) artificial intelligence and changes in teaching; (3) emerging competencies for the ethical and critical use of artificial intelligence; (4) teachers' digital competencies and the SDGs; (5) integration of digital skills, artificial intelligence (AI), and education for sustainable development. Digital competence complements innovation in educational technologies and the use of new pedagogical approaches to support lifelong learning (Basantes-Andrade et al., 2020; García-Morales et al., 2021). The use of artificial intelligence in continuing education requires critical thinking skills and ethical and responsible attitudes. The relationship between AI and the Sustainable Development Goals focuses on inclusive and quality education (SDG 4) and on digital innovation and sustainability (SDG 9), and creates opportunities for a more inclusive and equitable education (SDG 10) (Higuera Sánchez et al., 2025; Martín-Párraga et al., 2024). It can therefore be concluded that the development of teachers' digital competence is vital for creating an innovative, inclusive, ethical, and sustainable continuing education system.

**Keywords:** teachers' digital literacy, continuing education, artificial intelligence, sustainable development, educational innovation, lifelong learning

## 1. Introducción

Los entornos educativos, las competencias y los procesos han ido evolucionando por la revolución digital y requieren transformaciones en la enseñanza y el aprendizaje. La educación virtual y los cambios dentro de los sistemas educativos durante y después de la pandemia obligaron a las instituciones educativas a modificar su pedagogía, tecnología y sistemas organizativos para mantener el aprendizaje (Crawford et al., 2020). Los numerosos cambios en la educación, combinados con la pandemia, crearon una situación en la que la tecnología no era un apoyo para la enseñanza y el aprendizaje, sino que se convirtió en un pilar central de todos los procesos de enseñar, aprender, comunicar, evaluar y gestionar en el ámbito educativo.

La tecnología ha redefinido las prácticas de enseñanza y aprendizaje, especialmente en la educación continua. El conocimiento que cambia rápidamente y los programas virtuales disponibles con mayor flexibilidad y diversidad de participantes han introducido desafíos específicos en la práctica de la enseñanza. En este contexto, la enseñanza es mucho más que trasladar las prácticas instruccionales de un entorno físico a un entorno en línea. El diseño de la práctica docente incluye el desarrollo de estrategias instruccionales, recursos de tecnología educativa, evaluaciones y retroalimentación. La práctica docente debe abordar el uso ético, seguro y legal de la tecnología.

Desde este punto de vista, las competencias digitales de los docentes constituyen un componente central en los temas contemporáneos de la educación continua. Los docentes deben integrar múltiples componentes en el uso de tecnologías que involucren conocimiento, habilidades

y actitudes dentro de los límites del pensamiento crítico y creativo. La integración de varias dimensiones de las tecnologías en la educación también incluye la seguridad y la pedagogía.

La literatura revisada muestra que, en los últimos años, la tendencia es crear modelos multidimensionales de competencias digitales que integren, de manera analítica y sistemática, dimensiones tecnológicas, pedagógicas, lingüísticas, evaluativas, sociales y éticas, y la transformación de las prácticas educativas (Cabero-Almenara et al., 2020). Desde esta perspectiva, el uso de tecnologías digitales por parte de los docentes permitirá que se muevan más allá del uso de la tecnología de forma instrumental hacia procesos y actividades educativos innovadores que sean inclusivos y centrados en el aprendiz.

El uso de la inteligencia artificial, y especialmente la inteligencia artificial generativa, introduce una perspectiva diferente a esta necesidad. Cambia la forma en que las tareas educativas de planificación, generación de contenidos de enseñanza y actividades de aprendizaje, desarrollo de recursos de aprendizaje, personalización y evaluación del aprendizaje, y la retroalimentación a los aprendices pueden llevarse a cabo. El uso educativo de la inteligencia artificial se apoya en el juicio profesional de los docentes para evaluar las herramientas de enseñanza disponibles, y definir las tareas para los estudiantes, analizar los resultados, evaluar la calidad del contenido generado y su valor pedagógico.

Con lo mencionado, se plantean diversos desafíos, tales como, uno de los mayores problemas es el crecimiento de la tecnología en comparación con la integración de herramientas dentro de los sistemas educativos existentes y el tiempo necesario para enseñarlas de manera significativa. El rápido desarrollo de herramientas digitales y el rápido desarrollo de sistemas de IA y las habilidades asociadas al pensamiento crítico y a la IA responsable requieren mucho desarrollo profesional (Scavone, 2024; Van Vaerenbergh, 2024).

Esto queda rezagado respecto al proceso educativo durante mucho tiempo. Especialmente en la educación continua, los docentes deben adaptarse a los cambios tecnológicos; esto es especialmente notable en la educación de adultos. Del mismo modo, la capacitación debe ser de acuerdo con las formas de aprendizaje de adultos, que incluyen ser flexible, relevante y directamente relacionada con el trabajo del participante.

Existen problemas adicionales con el uso responsable de la IA que la literatura ha abordado. Hay preocupaciones con la producción de información falsa. En el uso de sistemas de IA, existen áreas de sesgo algorítmico, así como privacidad y protección de datos, propiedad intelectual y el derecho a ser informado. El uso educativo de los sistemas de IA debe abordarse con una perspectiva crítica y ética y debe permitir la revisión, validación y contextualización de los resultados de los sistemas de IA (Pizones Bejarano et al., 2025). Por esta razón, el enfoque en la educación continua debe centrarse en el desarrollo de las habilidades digitales de los docentes, y también deben incorporarse nuevas formas de abordar la IA.

En este contexto, la agenda 2030 ofrece un medio adecuado para examinar los aspectos sociales y educativos de las competencias digitales de los docentes frente al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 4. Este objetivo está directamente alineado con el desarrollo profesional continuo

y enseña las competencias digitales de los docentes, requeridas para desarrollar nuevas herramientas y técnicas educativas para apoyar una educación flexible e innovadora, formas alternativas y novedosas de evaluación del aprendizaje y la creación de marcos y actividades educativas más flexibles e innovadores.

Esta relación se refiere al Objetivo de Desarrollo Sostenible 9, Industria, Innovación e Infraestructura, dado que la transformación educativa contemporánea incorpora innovaciones y tecnologías emergentes, IA, recursos educativos digitales y marcos de enseñanza y aprendizaje flexibles. Sin embargo, el desarrollo de la infraestructura tecnológica necesaria es solo una parte del proceso. La capacidad de usar la tecnología de manera responsable es una parte importante de este proceso también. Desde esta perspectiva, avanzar en las competencias digitales de los docentes es una inversión en capital humano que puede incentivar la innovación educativa y la capacidad institucional para responder a las transformaciones de la sociedad digital. El Objetivo de Desarrollo Sostenible 10, Reducir las Desigualdades, también permite considerar algunos aspectos críticos de la educación permanente basada en la tecnología.

La formación virtual, el aprendizaje autónomo y algunos modelos flexibles pueden ofrecer nuevas oportunidades de desarrollo profesional que neutralizan parte de las limitaciones geográficas, económicas y de tiempo. Sin embargo, estos beneficios solo pueden realizarse mediante el diseño de programas educativos que tomen en cuenta las distintas competencias basadas en lo digital, las tecnologías disponibles y las condiciones bajo las cuales las personas pueden comprometerse digitalmente. Por esta razón, la inclusión digital también significa la oportunidad de participar y aprender, y el derecho a crecer y desarrollarse en los nuevos ecosistemas educativos (Higuera Sánchez et al., 2025).

La intersección entre las habilidades digitales de los docentes, la inteligencia artificial y los Objetivos de Desarrollo Sostenible presenta un campo relevante para la integración del conocimiento y, por lo tanto, un área necesaria de investigación. Aunque investigaciones más recientes ofrecen perspectivas sobre la transformación digital, las habilidades docentes y la inteligencia artificial, al tiempo que abordan los avances y el desarrollo sostenible de la educación, se necesita una investigación más avanzada e integradora para abordar las relaciones y las habilidades docentes que pueden mantenerse a lo largo del aprendizaje permanente.

Desde una perspectiva de investigación y científica, centrarse en la intersección ofrece nuevas perspectivas para entender las habilidades digitales de los docentes en el contexto de las nuevas demandas de la sociedad del conocimiento. Esta perspectiva evita una visión excesivamente simplista del uso de las habilidades digitales por parte de los docentes.

Más bien, se centra en la razón del uso de la habilidad digital, las consideraciones éticas, las habilidades requeridas para interactuar con la IA, cómo las habilidades pueden asegurar el desarrollo de una práctica docente que ofrezca calidad, innovación, inclusión y sostenibilidad, y cómo pueden mejorarse para lograr estos objetivos. Esta perspectiva es particularmente importante y relevante dentro del aprendizaje permanente, en el que se exige a los participantes y a los docentes una actualización continua.

A partir de las afirmaciones anteriores, esta revisión intentará analizar las competencias digitales de los docentes en el contexto del aprendizaje a lo largo de la vida, mostrando cómo estas competencias se conectan con la Inteligencia Artificial y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este análisis se centrará en sus impactos sobre la calidad educativa e innovaciones, así como sobre el aprendizaje permanente y la transformación sostenible de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esta investigación construye un marco basado en la literatura de 2020 a 2026, e identifica los principales desafíos, así como las contribuciones principales para esta convergencia. Esta investigación también ofrece una perspectiva integradora que permite comprender el papel del docente en las transformaciones educativas digitales que son éticas, inclusivas y sostenibles.

La revisión se centra en el análisis de la competencia digital de los docentes en contextos de educación continua, ya que la inteligencia artificial se plantea como una nueva dimensión del desarrollo profesional. Basado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4, 9 y 10 como lentes interpretativas para analizar la dimensión educativa y social de esta competencia. Por lo tanto, el estudio no busca evaluar de forma independiente cada elemento de la transformación digital, ni estima directamente el cumplimiento de los ODS, sino que analiza relaciones conceptuales y evidencia documentada entre ellos.

En esta investigación distingue los conceptos de competencia digital docente, la alfabetización digital, el aprendizaje a lo largo de toda la vida la educación continua y ecosistemas de aprendizaje tal y como se define. La alfabetización digital es una de las competencias básicas para acceder, comprender y utilizar la información y las tecnologías digitales, mientras que la enseñanza de la competencia digital incluye su uso pedagógico, evaluativo, comunicativo y ético.

El aprendizaje a lo largo de la vida es un concepto más amplio de desarrollo permanente; la educación continua abarca el campo de la formación profesional y la actualización analizada en esta revisión. Los ecosistemas de aprendizaje digital, por otra parte, abarcan la interacción de persona a persona y las interacciones entre las personas con tecnologías, recursos, metodologías y procesos institucionales. La inteligencia artificial se analiza como una nueva tecnología con el potencial de crear oportunidades y responsabilidades en estos entornos, en lugar de un concepto análogo para la competencia digital educativa.

## 2. Metodología de la revisión

El estudio se desarrolló mediante una revisión integrativa de la literatura, complementada con un proceso sistematizado para la búsqueda, selección, análisis y síntesis de los documentos. Este enfoque permitió examinar aportes empíricos y teóricos sobre tres ejes de análisis: el uso de las competencias digitales de los docentes en la educación superior, la inclusión educativa formal de la inteligencia artificial y su vinculación conceptual con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En consecuencia, la revisión tuvo un alcance descriptivo, analítico e integrativo; no buscó establecer relaciones causales ni cuantificar de manera directa los impactos de las competencias digitales de los docentes en los indicadores de los ODS. El método para organizar la selección de

los documentos se inspiró en las etapas de PRISMA, y para la interpretación de los estudios se realizó un análisis temático integrativo.

Una revisión integradora está justificada porque el objetivo del estudio no es solo localizar investigaciones sobre la competencia digital de los docentes, sino también examinar el desarrollo de esta competencia frente al surgimiento de nuevas tecnologías y la relación que esta competencia tiene con la calidad, la innovación, la inclusión y los objetivos de aprendizaje a lo largo de la vida de la Agenda 2030. Esto también justifica la inclusión de investigaciones empíricas y revisiones de literatura o conceptuales publicadas en revistas académicas, siempre que sean directamente relevantes para el tema del estudio.

El proceso de revisión del documento se llevó a cabo en cinco fases: definición del problema y del propósito de la investigación; desarrollo de la estrategia de búsqueda; implementación de los criterios de inclusión/exclusión; selección y clasificación de las publicaciones; y análisis temático y síntesis. Esta secuencia permitió que el proceso de revisión se estructurara y conectara las preguntas de investigación, la selección documental y la interpretación de la literatura científica.

Los resultados de las cinco bases de datos buscadas arrojaron 204 registros. Se eliminaron 27 de ellos por ser duplicados. Tras el cribado por título y resumen de estos 177 registros, se excluyeron 14. Luego, se evaluaron 163 registros a nivel de texto completo, lo que dio lugar a una exclusión adicional de 12 registros. En total, se incluyeron 151 estudios en el análisis temático integrador final.

## 2.1. Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda se formuló con los conceptos principales relacionados con el objetivo del artículo que se encuentra la competencia digital de los docentes con respecto a la actualización de capacidades. La inteligencia artificial en su dimensión generativa se trata como una tecnología emergente que introduce nuevos desafíos para la práctica profesional de la enseñanza. A su vez, los Objetivos de Desarrollo Sostenible proporcionan un marco de referencia para interpretar el impacto educativo y social de tales competencias. Esto permite preservar la competencia digital de los docentes como el eje principal del análisis, sin considerar la inteligencia artificial y la sostenibilidad como objetos de investigación independientes.

Para ampliar la búsqueda de literatura científica internacional, se trabajó el uso de términos en español e inglés. Las palabras clave principales fueron competencia digital docente, competencias digitales, educación continua, desarrollo profesional continuo, aprendizaje a lo largo de la vida, inteligencia artificial, inteligencia artificial generativa, Objetivos de Desarrollo Sostenible, desarrollo sostenible, innovación educativa y aprendizaje a lo largo de la vida. Sus equivalentes en inglés fueron teachers' digital literacy, digital competencies, continuing education, continuing professional development, lifelong learning, artificial intelligence, generative artificial intelligence, Sustainable Development Goals, sustainable development, educational innovation, and lifelong learning.

Se utilizaron los operadores booleanos AND y OR para unir los términos. El operador OR se utilizó para acoger términos equivalentes y buscar de forma amplia, mientras que AND se utilizó para relacionar directamente los conceptos centrales del estudio.

De acuerdo con la Figura 1, se formularon las siguientes ecuaciones generales de búsqueda de información:

**Figura 1**

*Ecuaciones para la búsqueda de información*




*Nota.* Elaboración propia.

La búsqueda se realizó en el periodo entre enero de 2020 y 2026. El objetivo fue recuperar una literatura reciente que pudiera apoyar la transformación digital acelerada que la educación ha experimentado en estos años. Esta es una delimitación adecuada considerando los cambios rápidos que han ocurrido en las tecnologías digitales y la explosión de aplicaciones educativas de IA generativa.

Las ecuaciones de búsqueda se adaptaron a la sintaxis y características de cada base de datos.

## 2.2. Bases de datos consultadas

El protocolo de revisión incluye consultar diferentes bases de datos para la literatura con miras a la interdisciplinariedad y cobertura internacional. Con el fin de cubrir el panorama internacional de publicaciones científicas y considerando su presencia de investigación revisada por pares relacionada con Educación, Tecnología, Sostenibilidad e incluso Inteligencia Artificial, las bases de datos utilizadas fueron:

- Consultar Web of Science está motivado por la gran penetración internacional de la literatura científica y su indexación, y por el hecho de que es posible identificar investigaciones de alto impacto en los campos analizados;
- Debido a su especialización en investigación educativa y para localizar estudios sobre competencias docentes, desarrollo profesional y tecnologías educativas y educación digital, el protocolo de revisión incluye consultar la base de datos ERIC.
- SciELO cubre América Latina y la producción científica iberoamericana relacionada con la innovación educativa y las competencias digitales y la inclusión, por lo que el protocolo de revisión incluye SciELO.
- Redalyc, Dialnet y otras bases de datos similares se utilizan para recuperar literatura latinoamericana en el área de educación, tecnología digital y la transformación educativa.

La combinación de fuentes internacionales y regionales tiene como objetivo minimizar el impacto de utilizar exclusivamente literatura anglófona; permite la integración de contribuciones a los contextos iberoamericanos y latinoamericanos, especialmente relevante para el estudio de la educación continua y la competencia digital docente.

## 2.3. Criterios de inclusión

La selección de documentos se realizó de acuerdo con los criterios de inclusión definidos para garantizar que las publicaciones estén alineadas con los objetivos de la revisión. Se analizaron estudios relacionados con al menos un aspecto central de la revisión: competencia digital docente, educación continua, IA en la educación, innovaciones educativas, aprendizaje a lo largo de la vida, educación para el desarrollo sostenible. Estudios en los que se establecen relaciones empíricas o conceptuales entre dos o más elementos centrales del estudio. Además, se utilizaron publicaciones en las que se proporciona información suficiente para comprender los objetivos, la metodología, los resultados y/o las contribuciones conceptuales para analizar la publicación, enfatizados en educación superior, formación docente, educación virtual, educación continua o contextos educativos que sean aplicables a estas disciplinas.

La estrategia de búsqueda se creó combinando descriptores en inglés y español para cada una de las cuatro áreas principales del estudio. Competencia digital docente, educación continua, inteligencia artificial y Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se utilizaron operadores booleanos AND y OR para combinar “competencia digital docente” y “teacher digital competence”, “educación continua” y “continuing education” y “lifelong learning”, “inteligencia artificial”

y “artificial intelligence”, “generative artificial intelligence”, y “Objetivos de Desarrollo Sostenible” y “Sustainable Development Goals”.

Estos fueron los criterios de inclusión: (a) artículos de 2020 a 2026; (b) artículos científicos y revisiones; (c) artículos en español o inglés; (d) artículos en el campo de la competencia digital de los docentes, la formación continua, la IA en la educación, cambios educativos digitales y relacionados, innovaciones y transformación; (e) aprendizaje permanente y sostenibilidad educativa; (f) artículos que hayan examinado teórica o empíricamente los aspectos centrales de la revisión; (g) artículos que se relacionen con los ODS 4, 9 y 10. Se incluyeron artículos que presentaron información adecuada sobre metas, metodología, resultados u otros elementos conceptuales que permitieran un análisis académico.

Las búsquedas enfatizaron documentos educativos en los años más recientes que eran principalmente académicos y se centraban en el desarrollo de los docentes dentro de contextos educativos y transformaciones relacionadas con las inclusiones digitales y sostenibles.

La documentación proporcionada demuestra documentos publicados recientemente que cumplen con los criterios dados. Estos incluyen estudios sobre competencia digital docente, Educación 4.0, formación digital, innovación en educación y sostenibilidad digital.

### 2.4. Criterios de exclusión

Se excluyeron los documentos por las siguientes razones:

- Fechas de publicación anteriores a 2020.
- Publicación simultánea del mismo documento en diferentes bases de datos.
- Publicaciones que no estén relacionadas con la educación o la formación docente.
- Estudios que se refieran únicamente a aspectos técnicos o computacionales de la inteligencia artificial y no tengan carácter educativo.
- Estudios exclusivos sobre competencias digitales de los estudiantes que no se relacionen con la enseñanza, la formación o las competencias docentes.
- Documentos que se relacionen con sostenibilidad o con los Objetivos de Desarrollo Sostenible que no incluyan un elemento docente relevante.
- Literatura de divulgación científica popular, publicaciones comerciales, noticias, blogs y otras fuentes informales.
- Documentos cuyo texto completo no proporcione información suficiente para determinar su relevancia.
- Estudios en los que la falta de descripción metodológica constituye un problema que debe abordarse.
- Publicaciones cuyo contenido no esté relacionado con el foco principal de la revisión.

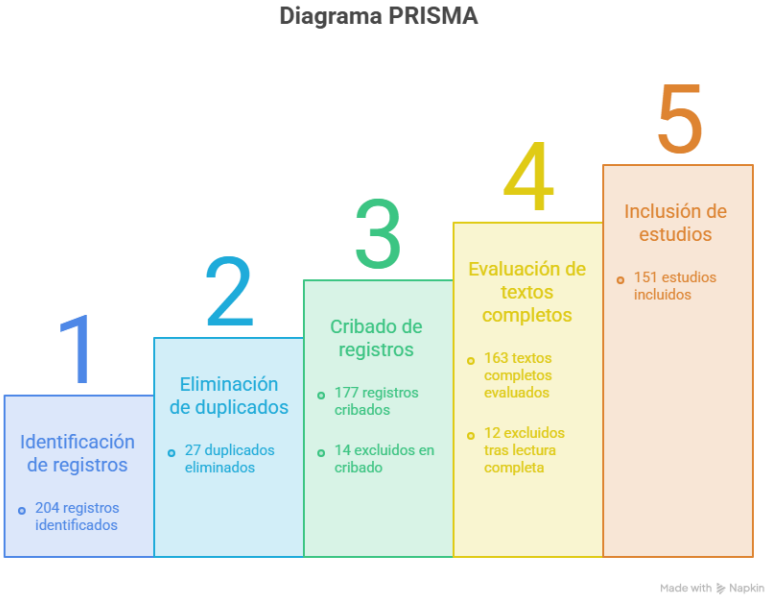
El uso de criterios de inclusión y exclusión ayudó a determinar evidencia documental relevante basada en la calidad, y cómo la evidencia complementó el objetivo de la investigación. Evita que la amplitud de términos como inteligencia artificial, competencia digital y sostenibilidad abarque fuentes desalineadas con el problema de investigación.

## 2.5. Procedimiento de selección

La selección de publicaciones se realizó mediante un proceso por etapas, inspirado en los principios de transparencia de PRISMA, de acuerdo con la Figura 2, dentro del contexto de identificar, examinar y seleccionar la literatura científica.

**Figura 2**

*Diagrama PRISMA*




*Nota*. Elaboración propia.

En la Figura 2 presenta en detalle y visualiza el complejo proceso de selección de las respectivas publicaciones científicas, razón por la cual estos textos se incluyen en esta revisión (para una identificación exhaustiva, cribado, evaluación de elegibilidad e inclusión final). La fase inicial refleja la identificación de la literatura, con un total de 204 registros bibliográficos recuperados con éxito.

Estos se extrajeron con esmero de una serie de bases de datos académicas establecidas y reconocidas, a saber: Web of Science, ERIC, SciELO, Redalyc y Dialnet. Tras esta primera recopilación, realizamos una etapa de filtrado e identificamos 27 registros duplicados en las distintas fuentes de búsqueda. Como resultado de esta depuración, se obtuvo un subconjunto más limpio de 177 publicaciones antes de pasar a la siguiente fase de cribado.

En esta etapa, los títulos y resúmenes de cada una se evaluaron de manera exhaustiva y crítica para asegurarse de que se ajustaran estrictamente a los criterios de inclusión definidos, lo cual se

resolvió previamente. En consecuencia, como producto de dicho cribado preliminar exhaustivo, se excluyeron un total de 14 registros, porque no cumplían satisfactoriamente con los criterios de selección definidos. En total, permanecieron 163 publicaciones, que recibieron una evaluación exhaustiva de elegibilidad (lectura completa y comprensiva del texto íntegro de cada documento).

Durante esta fase esencial de verificación de detalles, cada tema fue examinado de manera conceptual, metodológica y temática, evaluando el grado en que los documentos individuales estaban alineados con, o correspondían directamente, a los objetivos principales de un estudio de resultados, junto con sus objetivos específicos que orientan la metainvestigación. Este proceso de análisis cualitativo y riguroso permitió identificar y excluir 12 otras publicaciones que no cumplen plenamente los requisitos, posibilitando la definición concreta de un corpus documental relevante, que consta estrictamente de 151 estudios científicos significativos.

Por último, una vez que el contenido de los documentos superó esta etapa de selección más desafiante, los documentos seleccionados fueron categorizados y organizados mediante una herramienta de gestión bibliográfica, un sistema de apoyo impulsado por la tecnología diseñado con el propósito explícito de simplificar y agilizar de forma drástica estos complejos procesos posteriores a la extracción, manteniendo al mismo tiempo una fidelidad cuidadosa a cinco temas generales que han sido delimitados en la formulación previa del diseño de investigación.

Este complejo y sistemático proceso metodológico fue necesario para proporcionar una estructura global sólida y cohesión, pero fue indispensable para construir una sistematización teórica bien fundamentada sobre una base empírica sólida, completamente necesaria para llevar a cabo un análisis riguroso de la intrincada relación entre la competencia digital de los docentes, el uso de la inteligencia artificial y la promoción de la sostenibilidad educativa.

Los números correspondientes a los registros identificados, duplicados, excluidos y finalmente incluidos fueron identificados, una vez cargado en el gestor bibliográfico.

Para organizar y comparar la información, se creó una Matriz de Extracción de Documentos con 7 columnas: autor(es) y año, objetivo, enseñanza de la competencia digital, inteligencia artificial, SDG relacionado, resultados principales y decisión de inclusión. La estructura del instrumento se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Estructura de matriz de extracción y análisis documental*

| Au-tor(es) y año | Objetivo | Competencia Digital Do-cente | Inteligencia Artificial | ODS Relacio-nado | Principales Resultados | Inclusión |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S/N | S/N | 4-9-10 | | |

*Nota.* Elaboración propia.

El análisis se llevó a cabo en tres pasos. El primer paso consistió en extraer información de cada publicación hacia la matriz documental en un formato estandarizado. La matriz capturó datos de la publicación (citación y fuente), contexto, objetivo, relación con la enseñanza de la competencia digital, inteligencia artificial y los ODS, e incluyó los hallazgos principales. El segundo paso involucró codificación y agrupación de los hallazgos dentro de las cinco áreas temáticas. El último paso fue un análisis temático integrador para identificar patrones recurrentes, convergencia, divergencia, tendencias y lagunas en la literatura existente. Este análisis permitió una descripción de una integración de la enseñanza de la competencia digital, la inteligencia artificial, la educación continua y la sostenibilidad.

El análisis temático se organizó en torno a cinco categorías, como se definió previamente en correspondencia con el objetivo de la investigación y los ejes conceptuales de la revisión. El tema inicial, Competencias docentes digitales y formación continua, facilitó la exploración de las habilidades pedagógicas, tecnológicas, evaluativas y éticas para sustentar el aprendizaje a lo largo de toda la vida. La segunda, IA y el futuro de la enseñanza, se centró en las aplicaciones educativas de la IA, con implicaciones sobre cómo diseñamos y desarrollamos el aprendizaje, así como su evaluación.

En tercer lugar, se enfatizaron nuevas competencias para prácticas responsables y críticas de la inteligencia artificial, para garantizar la fiabilidad, analizar críticamente los resultados y la protección de datos, además de la rendición de cuentas en la enseñanza. La cuarta, Competencia docente digital y Objetivos de Desarrollo Sostenible asociados a los ODS 4, 9 y 10, se centró en las relaciones conceptuales. Por último, la quinta categoría sintetizó estas categorías para explorar sus posibles solapamientos en la educación de adultos sostenible. Estas categorías sirvieron como contextos para la organización y la construcción de significado del material documental, en lugar de variables utilizadas en la demostración causal.

Estas categorías permitieron ir más allá de describir publicaciones de forma individual, e identificar patrones, coincidencias, diferencias, tendencias y lagunas de conocimiento dentro de los estudios seleccionados. Asimismo, proporcionaron una base para identificar y presentar los hallazgos y la posterior discusión sobre el papel de las competencias digitales docentes para crear sistemas de aprendizaje permanente inteligentes, inclusivos y sostenibles.

## 3. Desarrollo de la revisión

La revisión de la literatura captura los cambios importantes en la comprensión de las competencias digitales de los docentes entre 2020 y 2026. Los cambios rápidos en el paisaje educativo virtual, la integración de nuevas tecnologías y, más recientemente, la iteración de la IA generativa, han ampliado la gama de habilidades que se esperan de los docentes. En este entorno, poseer competencia digital ya no es lo mismo que tener un alto nivel de control instrumental de diferentes herramientas. Más bien, la competencia digital abarca e integra distintas dimensiones de la pedagogía, la tecnología, la comunicación, la evaluación, la ética, las habilidades sociales y la comprensión del contexto de la institución.

Este cambio es particularmente evidente en la educación continua, donde los docentes trabajan con participantes de diferentes profesiones, distintos niveles de competencia y diversos grados de habilidades digitales que también se encuentran disponibles en horarios variables. La literatura bajo revisión señala que estas condiciones requieren experiencias de aprendizaje que sean flexibles, que utilicen recursos educativos de calidad y que empleen métodos activos y evaluación formativa, así como aprendizaje autodirigido. Junto con esto, el uso de IA en la educación crea nuevas oportunidades para el diseño de actividades de aprendizaje, al tiempo que introduce nuevos problemas y desafíos no resueltos respecto a la evaluación del aprendizaje, el diseño de actividades de aprendizaje, la privacidad personal y el papel ético de los docentes.

Con el fin de preservar la delimitación del estudio, los resultados se clasifican según el principal objeto de análisis: la enseñanza de la competencia digital en la formación continua. Se analiza el papel de la inteligencia artificial y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en relación con sus cambios pedagógicos, éticos e institucionales. Resultados: Los resultados describen patrones de investigación, los marcos teóricos predominantes, los desarrollos científicos recientes clave y las brechas y desafíos identificados en la literatura.

En la Tabla 2 se visualiza la síntesis de categorías y tendencias identificadas en la búsqueda de información.

**Tabla 2**

*Síntesis de categorías y tendencias*

| Categoría | Tendencia identificada | Aporte principal |
|---|---|---|
| Competencia digital docente y educación continua | Evolución desde competencias instrumentales hacia modelos multidimensionales | Integra dimensiones pedagógicas, tecnológicas, evaluativas, comunicativas, éticas y sociales |
| IA y transformación educativa | Incorporación creciente de IA e IAG en procesos educativos | Apoyo a planificación, recursos, actividades, evaluación, personalización y retroalimentación |
| Uso ético y crítico de IA | Mayor preocupación por riesgos asociados a sistemas inteligentes | Exige verificación, transparencia, privacidad, protección de datos y juicio profesional docente |
| Competencia digital y ODS | Vinculación creciente entre transformación digital y sostenibilidad | Relación predominante con ODS 4, 9 y 10 |
| Educación continua sostenible | Consolidación del aprendizaje permanente y flexible | Amplía oportunidades de actualización profesional, inclusión y acceso |

*Nota.* Elaboración propia.

El siguiente numeral se describe las tendencias mencionadas anteriormente:

### 3.1. Tendencias de la investigación

La primera tendencia destaca las múltiples dimensiones de la competencia digital de los docentes. Los estudios más recientes se apartan de una definición centrada en el manejo de dispositivos y aplicaciones, y se acercan a la comprensión integral de la capacidad de los docentes para seleccionar, crear, gestionar y diseñar recursos digitales, así como para guiar e involucrar a los aprendices, evaluar y proporcionar retroalimentación, estimular la autonomía de los aprendices, resolver problemas y actuar de manera ética y socialmente responsable al usar TIC (Romero-García et al., 2020).

Una segunda tendencia identificable indica el crecimiento de la educación virtual y la educación continua. La proliferación constante de modelos virtuales e híbridos ha generado una demanda creciente de docentes que puedan impartir instrucción en contextos flexibles en espacio y tiempo. Dado este contexto, la educación continua es una tarea especialmente importante ya que sirve al principio del aprendizaje permanente y a las necesidades cambiantes de la profesión docente.

Después de 2020, los estudios muestran que la transformación digital ha aumentado la importancia de desarrollar habilidades para crear mejores experiencias virtuales. El aprendizaje en línea dejó de verse como un simple sustituto del aprendizaje tradicional y se convirtió en su propia forma con características únicas (Sánchez Martínez & Zamudio Montalvo, 2025). Las competencias y habilidades para trabajar y aprender en línea son importantes para desarrollar recursos útiles, crear actividades significativas, emplear métodos activos y constructivistas, e implementar sistemas de evaluación adecuados para el aprendizaje en línea.

La tercera tendencia es el cambio de entornos de aprendizaje virtuales a ecosistemas de aprendizaje digital. Esta visión del aprendizaje no se limita a una única tecnología de aprendizaje, sino a la interconexión de docentes, aprendices, tecnologías, recursos digitales y métodos, y a los procesos institucionales y comunidades involucradas. Así, el aprendizaje deja de estar limitado a un aula o a una tecnología de aprendizaje, y puede ser facilitado por la intervención de diversos recursos digitales que apoyan el aprendizaje a través de la comunicación y la colaboración en línea.

Esta visión se alinea con los Ecosistemas Learning 4.0, donde las tecnologías digitales, los recursos de aprendizaje y el análisis de aprendizaje se ponen en foco junto con la IA y los métodos de aprendizaje activos, con un enfoque centrado en el estudiante (Juárez Osorio et al., 2026). Dentro de estos ecosistemas, los docentes pasan de ser los únicos difusores del conocimiento a asumir roles de diseñadores, facilitadores y evaluadores de las experiencias de aprendizaje.

La cuarta tendencia, especialmente perceptible en la literatura educativa reciente, es la integración de la inteligencia artificial y la IA generativa en los procesos educativos. La IA mejora en gran medida la capacidad de generar tecnología de aprendizaje y, gracias a los avances recientes, puede usarse para proporcionar textos significativos, imágenes, actividades de aprendizaje, evaluación automatizada, ejemplos, recursos multimedia y retroalimentación, diseñando y estructurando experiencias de aprendizaje.

La IA generativa ayuda a crear diferentes formatos de contenido mientras sugiere varias explicaciones y formatos para las actividades y diferentes métodos de evaluación. Sin embargo, la literatura analizada demuestra que no aporta valor añadido a la educación a menos que un docente desarrolle un diseño pedagógico y evalúe los resultados. Por lo tanto, el crecimiento de la tecnología demuestra la necesidad de docentes con habilidades avanzadas (Pizones Bejarano et al., 2025).

La quinta tendencia identificada es la creciente dimensión ética y crítica de la competencia digital. La inteligencia artificial y los sistemas digitales plantean preguntas importantes sobre la privacidad, la protección de datos, el control de la información digital y el sesgo y la integridad de la información. Por lo tanto, la responsabilidad respecto al uso adecuado de la tecnología es tan importante como el conocimiento sobre la tecnología (Vuorikari et al., 2022).

Por último, observamos una tendencia a vincular la transformación digital con la sostenibilidad. La investigación analizada muestra el desarrollo de la competencia digital conectado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 4, 9 y 10. Esto demuestra el potencial de la transformación digital para facilitar avances en la inclusión educativa y mejorar la accesibilidad y el aprendizaje a lo largo de la vida (Higuera Sánchez et al., 2025).

### 3.2. Principales enfoques teóricos

El primer enfoque teórico que se encuentra en la literatura está relacionado con los marcos de competencia digital de los docentes. Estos marcos proporcionan formas de analizar las diferentes dimensiones y niveles de la competencia digital.

La literatura reciente tiende a referirse a las competencias docentes en términos de compromiso profesional, recursos digitales, enseñanza y aprendizaje, evaluación, empoderamiento estudiantil y desarrollo de competencias digitales. Este marco mental puede ayudar a definir a un docente digitalmente competente como alguien que va más allá del conocimiento de ciertas herramientas, sino que toma decisiones informadas sobre la enseñanza y el aprendizaje con tales herramientas.

Los estudios revisados muestran una progresión hacia la incorporación de niveles de enseñanza más integrados e innovadores. En el primer de estos niveles, encontramos la manipulación y el uso funcional de algunas herramientas. En los siguientes niveles se incorporan ciertas habilidades de selección de herramientas, modificación de herramientas y creación de herramientas. En niveles más avanzados, se combinan prácticas críticamente reflexivas y transformadoras con la innovación y el liderazgo en la enseñanza (Meyerhofer-Parra & González-Martínez, 2024).

Un segundo enfoque se refiere al aprendizaje permanente y la educación continua. En esta visión, el desarrollo profesional es un requisito permanente. Esta concepción se refuerza por el ritmo acelerado de los cambios tecnológicos; se vuelve imprescindible enseñar de forma digital en un contexto tecnológico en constante cambio. La educación continua tiene sus propias características. Estas características incluyen una variedad de edades; diversos antecedentes profesionales; varias experiencias diferentes; claras necesidades de formación adicional; y limitaciones prácticas (Juárez, 2022). Estas características exigen sistemas de educación continua

flexibles y autónomos. Además, estas características motivan a los docentes a desarrollar una formación contextualizada.

Otro enfoque se relaciona con los Ecosistemas de Aprendizaje 4.0, donde el análisis deduce que va más allá de la herramienta o plataforma para incluir a las personas interconectadas, tecnologías, métodos, recursos y procesos. Así, la innovación en la educación no es solo el resultado de la disponibilidad de herramientas; es un resultado de la dinámica que ocurre en el ecosistema. El desarrollo de la competencia digital se relaciona con la pedagogía y la tecnología. Para que tenga lugar la enseñanza, las plataformas educativas, los REA, la IA y la analítica se vuelven educativos solo cuando los docentes las integran en diseños de aprendizaje que ayudan a realizar los objetivos de aprendizaje previstos dentro de las experiencias que construyen (Juárez Osorio et al., 2026).

Los otros enfoques se relacionan con la alineación del diseño instruccional y los métodos de aprendizaje activo. Según la literatura analizada, la alineación de los resultados de aprendizaje, el contenido, las actividades y los recursos junto con una evaluación cuidadosamente planificada es un requisito previo para la instrucción infusionada con tecnología. Asimismo, otros métodos, como el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje colaborativo, entre otros, enfatizan actividades centradas en el estudiante que involucran a los estudiantes en una variedad de estrategias de aprendizaje activo (Arturo Castro-Valle, 2022; Romero-García et al., 2020).

En este sentido, la competencia digital se refiere a la capacidad de crear actividades de aprendizaje innovadoras y de diseñar experiencias de aprendizaje auténticas utilizando la tecnología. Además, varios cambios sugieren un giro de una orientación más sumativa a una más formativa e inclusiva. Las rúbricas, proyectos, estudios de caso y problemas, así como la retroalimentación, desempeñan un papel más importante en años más recientes.

El quinto enfoque se relaciona con la enseñanza con la ayuda de la inteligencia artificial. La inteligencia artificial generativa amplía las oportunidades docentes respecto a la generación de recursos, la adaptación y la organización de actividades. La IA generativa no reemplazará el diseño ni la profesión docente. Esta concepción es relevante ya que propone la inteligencia artificial como una ayuda sujeta a validación por parte del usuario. Utilizar la inteligencia artificial implica demostrar la capacidad de evaluar los resultados y distinguir sesgos y errores.

La Inteligencia Artificial también exige la capacidad de proteger a los usuarios de los riesgos que pueden encontrarse a través de la tecnología. Además, esta concepción sugiere que es pedagógicamente apropiado decidir cuándo usar la tecnología (Van Vaerenbergh, 2024). Este enfoque se relaciona con la enseñanza para el desarrollo sostenible. El objetivo no es alcanzar sistemas educativos de mayor calidad, accesibilidad e innovación mediante el uso de la tecnología. En cambio, el objetivo es incorporar una dimensión social de la transformación digital y vincular la formación de los docentes con los ODS (Higuera Sánchez et al., 2025).

### 3.3. Avances científicos recientes

Un avance importante ha sido la extensión del concepto de competencia digital a la competencia docente de naturaleza pedagógica. Estudios recientes se centran en la integración de nuevas herramientas y la falta de incorporarlas adecuadamente en un proceso educativo. La integración de tecnologías digitales implica transformar y desarrollar recursos para la evaluación digital; diseño y gestión de herramientas digitales; y, la promoción de la cooperación digital, el aprendizaje y la seguridad (Scavone, 2024).

Un segundo avance implica aplicaciones innovadoras de metodologías activas mediadas por la tecnología. Los datos analizados muestran que el aprendizaje basado en proyectos, la colaboración, la gamificación y otras técnicas similares pueden estimular un pensamiento de orden superior y una participación (Revuelta-Domínguez et al., 2022).

El tercer avance implica la personalización del aprendizaje. Con la integración de tecnologías digitales e IA, es posible adaptar algunos componentes de los arreglos educativos a las características y necesidades de los aprendices (Pizones Bejarano et al., 2025). Esto es importante en la educación continua debido a la gran variedad de perfiles profesionales.

El cuarto avance implica el uso de IA generativa en el diseño de actividades educativas. Basado en la literatura analizada, este avance incluye el uso de la tecnología para diseñar contenido educativo, diseñar tareas y evaluaciones educativas, diseñar medios educativos y proporcionar retroalimentación y evaluaciones educativas. Este avance facilita a los docentes dirigir, revisar y validar tareas y materiales educativos proporcionados por tecnología automatizada.

A raíz de esto, se evidencia un conjunto de competencias emergentes relacionadas con el uso de IA: articular instrucciones, proporcionar contexto, analizar e interpretar respuestas, determinar respuestas incorrectas, identificar sesgos, abordar cuestiones éticas y garantizar que las respuestas cumplan un propósito educativo dado (Scavone, 2024). La IA generativa ofrece muchas herramientas nuevas para los docentes, pero aumenta el riesgo asociado con la validación de las respuestas propuestas.

Un quinto avance es la combinación de evaluaciones digitales y retroalimentación personalizada. Las herramientas digitales se pueden construir fácilmente para crear y evaluar cuestionarios y rúbricas. Los datos de rendimiento se procesan automáticamente. La IA puede permitir la personalización de la retroalimentación, siempre que los instructores supervisen el proceso y creen criterios de evaluación (Van Vaerenbergh, 2024).

El sexto avance incluye la consideración de la accesibilidad digital y la inclusión. Los mejores recursos no son meramente innovadores, sino que pueden ser utilizados por estudiantes con muchas situaciones diferentes, es decir, necesidades y habilidades variables, diversos dispositivos, diferentes niveles de alfabetización digital y variada accesibilidad y estabilidad de Internet. Una combinación de accesibilidad, inclusión y competencia digital comienza a reconocerse como un todo colaborativo.

Este último avance es quizás el más importante de los otros, y relaciona estos otros avances con la sostenibilidad educativa. El ODS 4 es la conexión más obvia, ya que las competencias digitales

pueden promover un salto para enriquecer y ampliar el aprendizaje permanente. El ODS 9 permite incorporar la dimensión de innovación tecnológica e institucional, mientras que el ODS 10 proporciona el análisis de las desigualdades y el acceso equitativo al aprendizaje y la formación a lo largo de la vida (Higuera Sánchez et al., 2025; Martín-Párraga et al., 2024).

En la Figura 3, se presentan los principales componentes de la evolución de la competencia digital docente:

**Figura 3**

*Proceso de Evolución de la Competencia Digital Docente*




*Nota.* Elaboración propia.

### 3.4. Brechas y desafíos de investigación

Aunque se han logrado avances, hay varios desafíos que se presentan en la revisión resultando en una mayor necesidad de investigación. El primero de estos desafíos es la fragmentación de la investigación. Las competencias digitales docentes, la inteligencia artificial y los Objetivos de Desarrollo Sostenible se tratan como secuencias distintas. Aunque hay una gran cantidad de publicaciones en el área de digitalización educativa y tecnológica y una rápida publicación de IA, existe una gran necesidad de una explicación de cómo estos tres componentes interactuarán dentro del contexto de la educación continua y la sostenibilidad.

Un segundo vacío se relaciona con la necesidad de establecer más evidencias en relación con el aprendizaje continuo. Un aspecto importante de la investigación sobre competencia digital se centra en la educación formal, la formación inicial docente y/o la educación terciaria formal. Existen varios aspectos de la educación continua derivados de la pluralidad de perfiles profesionales, la flexibilidad en el tiempo y la adaptación a las cambiantes necesidades del mercado laboral y del aprendizaje a lo largo de la vida. Por esta razón, no todos los hallazgos en otros niveles educativos pueden aplicarse a este contexto.

El tercer desafío está vinculado a la velocidad vertiginosa del desarrollo de la IA generativa. Las herramientas y funcionalidades que se están desarrollando exigirán un perfil de competencia diferente, haciendo que las competencias actuales queden obsoletas. El desarrollo de un modelo estable y formativo será difícil a la luz de esto. En lugar de centrarse en entrenar cómo usar varias

aplicaciones, será importante desarrollar una variedad de competencias que se extiendan más allá del aula, incluyendo evaluación crítica, competencia instruccional, uso de datos, diseño y comunicación de instrucciones, evaluación de resultados y adaptabilidad.

Finalmente, en la investigación, se denota que las adaptaciones a contextos latinoamericanos son igualmente necesarias. Las diferencias sociales, económicas y tecnológicas que se dan entre América Latina y los países en los que la mayoría de los marcos de competencia digital se desarrollan y publican tienen un impacto. El contexto es crítico si se quiere evitar modelos externos y si los instrumentos se van a usar como se pretende.

## 4. Discusión

La revisión proporciona evidencia de un papel importante de la competencia digital docente en la integración de la transformación tecnológica y los objetivos de sostenibilidad educativa. La literatura revisada ha progresado desde modelos de competencia en herramientas hacia modelos centrados en la pedagogía que incluyen creación de recursos, evaluación, comunicación, colaboración, inclusión, seguridad y ética. La última incorporación incluye la capacidad de interactuar con sistemas de IA de manera crítica y responsable.

En la educación continua, la importancia de dicha articulación es evidente, ya que el aprendizaje permanente requiere flexibilidad, actualización continua y la capacidad de atender a diversos aprendices. Los ecosistemas de aprendizaje digital permiten ampliar la formación, y el aprendizaje activo, la evaluación auténtica y las tecnologías emergentes permiten crear oportunidades de aprendizaje más flexibles. Sin embargo, el potencial de estas tecnologías de aprendizaje está limitado por la reinvención pedagógica del docente.

Desde la perspectiva de la Agenda 2030, la literatura más consistente muestra las relaciones de los ODS 4, 9 y 10. Con el ODS 4, está el proceso de mejora de la calidad educativa y el desarrollo profesional de los docentes y la provisión de oportunidades de aprendizaje permanente. El ODS 9 concierne a las innovaciones/invenciones y a la integración responsable de las nuevas tecnologías. El ODS 10 se refiere a la necesidad de habilitar la transformación digital para crear nuevas oportunidades y no simplemente replicar o ampliar la desigualdad digital.

El análisis de la literatura mostró que la transformación de la educación continua depende principalmente de la capacidad de los docentes para utilizar tecnologías digitales de manera pedagógica, crítica, ética e inclusiva. Esto adquiere especial importancia al considerar la proliferación de la Inteligencia Artificial (IA) y, en particular, de la IA Generativa (IAG) porque están cambiando las actividades de la planificación educativa, la creación de recursos educativos, el diseño de las actividades educativas, la evaluación y la retroalimentación. En este sentido, la principal contribución de la literatura analizada es mostrar una evolución conceptual de la competencia digital del docente, pasando de un aspecto casi exclusivamente instrumental a una competencia multidimensional estrechamente vinculada a la innovación educativa y la sostenibilidad.

Así, la principal convergencia implica cuatro subaspectos interconectados: la alfabetización digital de los docentes como factor habilitador; la inteligencia artificial como tecnología emergente; el aprendizaje permanente como contexto de aprendizaje continuo; y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas como horizonte de calidad, innovación e inclusión. Enmarcar estos aspectos crea una visión de aprendizaje permanente inteligente y sostenible, donde la innovación tecnológica se complementa con los fines de la pedagogía, la ética y la preocupación social.

### 4.1. De la competencia tecnológica a una competencia digital integral del profesorado

La primera convergencia en los estudios analizados es criticar las posiciones exclusivamente centradas en lo instrumental de la competencia digital. La literatura reciente muestra que es necesario, pero no suficiente, utilizar una plataforma, aplicación o tecnología para llevar a cabo una práctica de enseñanza digitalmente competente. En el caso de las competencias digitales en contextos de aprendizaje electrónico, (Basantes-Andrade et al., 2020) señalan la importancia de estas competencias en la educación mediada por tecnología. En la misma línea, (Cabero-Almenara et al., 2020) sitúan el debate sobre la competencia digital de los docentes dentro de un enfoque más amplio de formación y desarrollo profesional.

La combinación de estos elementos permite el análisis de la transición del uso instrumental de la tecnología a la capacidad del docente para usar la tecnología para integrar estrategias pedagógicas, así como su conocimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esta reorientación permite mover la discusión desde la parte tecnológica hacia la capacidad del docente para usar herramientas tecnológicas en el proceso de aprendizaje y enseñanza. El cambio no es superficial. Un docente puede ser capaz de manejar una herramienta/aplicación virtual, mientras enfrenta desafíos en la creación de tareas significativas, la selección de recursos relevantes, la provisión de retroalimentación crítica y la evaluación del aprendizaje en un entorno virtual.

La literatura revisada sugiere que esta competencia digital docente significa la capacidad de integrar/combinar tecnología y pedagogía, así como otros factores decisivos como la comunicación, la evaluación y cuestiones sociales y éticas. Esta definición se alinea con los modelos de competencia digital predominantes que tienden a integrar el diseño de la enseñanza y el aprendizaje, la evaluación, el empoderamiento de los aprendices y el avance profesional (Garcia-Pinilla et al., 2023; Gurrola Togasi, 2021).

En el campo de la educación continua, esta distinción es la más importante. Los participantes de educación continua tienen antecedentes diferentes. Debido a ello, el personal docente tiene que aprender diferentes técnicas y estrategias y ser capaz de encontrar la más adecuada para los distintos niveles de experiencia, antecedentes y competencias digitales de los participantes. En conclusión, tener competencia digital significa poder adaptarse al contexto educativo.

### 4.2. Educación continua y aprendizaje a lo largo de toda la vida frente a la transformación digital

El segundo hallazgo importante es la conexión entre la competencia digital docente y el aprendizaje a lo largo de la vida. La necesidad continua de actualizarse está relacionada con la necesidad de conocimiento continuo. La actualización profesional continua responde tanto a la evolución del conocimiento como a los rápidos cambios en las tecnologías digitales. Debido a ello, el personal de las instituciones docentes debe ofrecer diferentes vías flexibles para la actualización de software y hardware, así como la mejora de la formación del profesorado.

Esto crea una relación constante entre enseñanza y aprendizaje. Estos docentes no son solo instructores, sino también aprendices. Las tecnologías digitales y la inteligencia artificial están cambiando a velocidades tan rápidas que casi es imposible pensar la competencia digital como un estado fijo o como una competencia obtenida a través de una certificación (Castillo Martínez, 2023).

Desde un punto de vista institucional, la integración de la inteligencia artificial en los programas de formación docente va más allá de simplemente disponer de las herramientas. A partir de la evidencia proporcionada, podemos identificar una serie de factores relacionados con la infraestructura digital, el desarrollo continuo formal de los docentes, la presencia de políticas institucionales formales sobre el uso de la IA, la protección de datos, la asistencia técnico-pedagógica y la capacidad de determinar la aplicabilidad de los instrumentos.

En muchos casos, especialmente en lo que respecta a la formación continua, estos factores son más relevantes debido a los distintos niveles de competencia digital y a las necesidades profesionales entre los participantes. Así, la integración institucional de la IA requiere una combinación de tecnología, formación de docentes, gobernanza, pedagogía y la integración de una evaluación continua y flexible.

Las consideraciones éticas también son un factor clave de esta transformación. La pedagogía de la IA comporta varios riesgos, incluida la parcialidad en los algoritmos de IA, la IA que crea información falsa, la privacidad y la protección de datos, el derecho a los datos, el derecho a explicar la IA y una mayor dependencia de la tecnología. Por esta razón, la competencia digital de los docentes debe incluir la capacidad de salvaguardar los datos, identificar sesgos de la IA y justificar el uso de sistemas con una comprensión clara de las limitaciones de la IA, al tiempo que se garantiza la responsabilidad humana sobre las decisiones pedagógicas. El uso prudente de la IA en la educación refuerza la necesidad de salvaguardar las decisiones pedagógicas humanas y el juicio profesional.

La noción de mejorar las competencias digitales de los docentes está conceptualmente relacionada con los ODS 4, 9 y 10. Estas competencias son especialmente relevantes para el ODS 4, ya que pueden utilizarse para diseñar recursos educativos, evaluar el aprendizaje e identificar oportunidades de aprendizaje permanente y formación. En relación con el ODS 9, entre otros, su desarrollo puede ayudar a crear la capacidad institucional para absorber y difundir innovaciones y tecnologías emergentes.

En cuanto al ODS 10, los modos digitales y flexibles pueden incrementar el potencial de participación de las personas con diferentes condiciones geográficas, ocupacionales y de accesibilidad. No obstante, estas asociaciones son interpretaciones basadas en síntesis de evidencia y no medidas de contribuciones identificables a indicadores específicos de los ODS. Se concretan con condiciones pedagógicas, tecnológicas, institucionales y éticas: es decir, el acceso a los usuarios del sistema educativo desde una perspectiva inclusiva; así como las relativas a la protección de datos.

### 4.3. Inteligencia artificial: entre la oportunidad educativa y la responsabilidad del docente

Esta es el área de mayor cooperación y fricción. La literatura reciente reconoce que el uso de IA para generar o interpretar el contenido, para desarrollar actividades, para generar recursos, para adaptar, para evaluar y para proporcionar retroalimentación es una oportunidad. Existen riesgos de contenido incorrecto o sesgado, privacidad, protección de datos y brechas, infracción de derechos legales de terceros y falta de transparencia. La presencia de tanto oportunidades como riesgos inhibe un enfoque optimista o pesimista para definir el uso de IA en la educación. Más bien, la cuestión fundamental es cómo puede utilizarse la IA en el ámbito educativo con un marco pedagógico y ético adecuado considerando las limitaciones institucionales.

Los estudios analizados indican una distinción en los dos niveles de uso. En el primer nivel, la IA puede utilizarse como una herramienta de productividad para ayudar a redactar contenido, crear preguntas u obtener otros recursos útiles. En el segundo nivel, la IA puede utilizarse como parte del diseño de la pedagogía para ayudar en la personalización de actividades, ofrecer retroalimentación, construcción de recursos y análisis de datos educativos. La evolución desde el primero al segundo nivel sigue siendo responsabilidad del docente (Pizones Bejarano et al., 2025; Van Vaerenbergh, 2024).

Como tal, el resultado principal de la revisión es que el avance de la IA no disminuye las principales habilidades digitales de los docentes; al contrario, amplía su alcance. Cuando un sistema construye contenido, actividades o retroalimentación, el docente necesita habilidades más avanzadas para formular las pautas correctas, construir el contexto, analizar la salida, verificar y constatar la salida, descubrir sesgos (si los hay), y adaptar la salida al nivel de comprensión de los participantes y evaluar su valor en el contexto de los objetivos de aprendizaje.

Con la integración de la inteligencia artificial generativa en la formación continua, plantea dificultades que deben analizarse en detalle. En el contexto de la integridad académica, el uso de la generación automatizada de contenidos y respuestas requiere replantearse qué constituye evidencia de que los estudiantes han realizado un trabajo auténtico. Algunos aspectos como la autoría y la propiedad intelectual tendrán que separar la contribución humana de lo que se crea con sistemas de IA, y comprobar cómo exactamente pueden utilizarse estos recursos resultantes.

Otra dimensión relevante es la transparencia algorítmica, ya que las salidas de estos sistemas no se comprenden completamente y es probable que algunos resultados no puedan explicarse. Se debe considerar los riesgos en materia de protección de datos que atañen al tratamiento de

información personal y académica. El tercer aspecto relacionado con la gobernanza educativa de la IA, relativo a los criterios institucionales de uso, la supervisión, la validación y la responsabilidad humana. Estas dimensiones amplían el alcance de la competencia digital de los docentes y muestran que la disponibilidad de tecnología, por sí sola, no equivale a una integración pedagógica adecuada.

Esta nueva competencia tiene el potencial de definirse como la capacidad del docente para integrar IA pedagógica y moralmente responsable. Esta competencia no debería limitarse a la capacidad de construir instrucciones o indicaciones. Si bien es útil, la competencia instructiva más significativa incluye la capacidad de comprender las funcionalidades de los sistemas, las situaciones adecuadas para su aplicación, ofrecer evaluaciones críticas de sus respuestas y hacerse responsable de la integración educativa de los sistemas.

### 4.4. Calidad e innovación: una relación que no debería asumirse automáticamente

Otro hallazgo notable es la relación entre tecnología, innovación y calidad educativa. Una gran parte del discurso moderno establece una conexión entre innovación y la incorporación de tecnología contemporánea. Los hallazgos de este estudio presentan argumentos en contra de esta asociación de los dos conceptos.

El uso de IA generativa o recursos digitales y multimedia puede reflejar innovación tecnológica sin resultar en innovación pedagógica. La novedad en la enseñanza se logra cuando las herramientas se utilizan para transformar las prácticas de enseñanza y aprendizaje. Utilizar una herramienta novedosa para enseñar de la misma manera de siempre no garantiza una mejora en las prácticas docentes.

Los Ecosistemas de Aprendizaje 4.0 ofrecen una visión única de este tema ya que analizan la interacción entre personas, pedagogías, tecnologías, recursos y procesos dentro de una institución, en lugar de analizar herramientas aisladas. La innovación ocurre con el establecimiento de relaciones entre los diferentes componentes. La competencia digital es el componente humano que integra las tecnologías y las transforma en pedagogía (Juárez Osorio et al., 2026).

### 4.5. Inclusión digital y reducción de desigualdades: una tensión persistente

Una de las tensiones principales en torno a la transformación digital y el ODS 10 es la inclusión digital. Ciertas tecnologías digitales pueden ayudar a abordar algunas barreras asociadas con la distancia y el tiempo. Esto es particularmente aplicable a la formación continua, ya que es probable que los participantes tengan compromisos laborales o familiares. Ofrecer más tecnología digital no reduce la desigualdad. La participación depende de muchos factores, como recursos, dispositivos, conectividad, alfabetización digital y la capacidad de aprender por cuenta propia. Así, la misma transformación digital que ofrece nuevas oportunidades para la inclusión en la formación puede crear también nuevas formas de exclusión. Esto depende completamente de las condiciones bajo las cuales se diseñan las actividades educativas.

Esta tensión ayuda a informar la comprensión sobre la inclusión digital. Proporcionar simplemente acceso probado a un servicio digital no es suficiente. Una perspectiva inclusiva aborda

la capacidad del usuario para entender y utilizar los recursos, participar en las actividades descritas y completar con éxito el proceso. Esto significa que, además de la necesidad de que las tecnologías digitales sean accesibles, debemos abordar las habilidades digitales de los usuarios y el diseño de entornos de aprendizaje digital.

La introducción de la IA en los servicios digitales crea nuevos retos para la inclusión digital. La IA puede crear materiales de aprendizaje personalizados y proporcionar al usuario instrucciones paso a paso. Sin embargo, puede existir una desigualdad de oportunidades si algunos usuarios carecen de la comprensión crítica de lo que los servicios de aprendizaje basados en IA pueden proporcionar. Por lo tanto, la IA por sí sola no debe esperarse que aborde la desigualdad de oportunidades como se refiere en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 10 de las Naciones Unidas (Higuera Sánchez et al., 2025).

### 4.6. Convergencia de habilidades digitales, IA y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La contribución interpretativa consiste en proponer una articulación conceptual de las competencias digitales para docentes, la inteligencia artificial, la formación continua y los ODS. Permite identificar tres grandes ámbitos: la relevancia superior que tienen las competencias digitales para la enseñanza, en función de las oportunidades educativas y los riesgos de la IA, y, en tercer lugar, el vínculo entre la inclusión de los aspectos no esenciales/la calidad, condicionado al aprendizaje a lo largo de toda la vida.

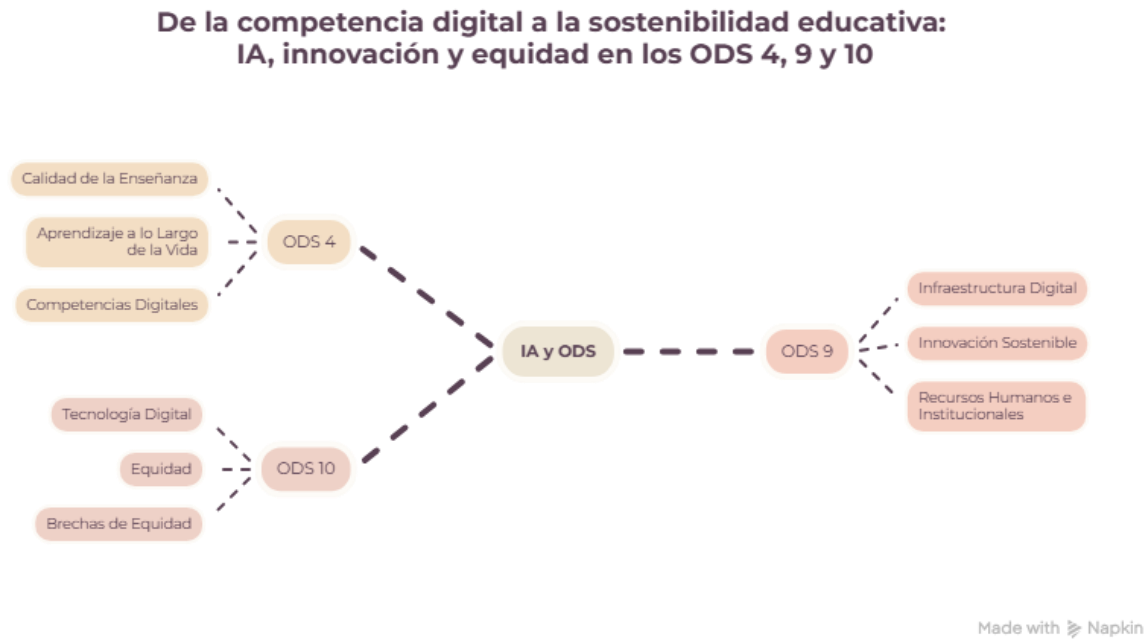
Sugerimos abordar las competencias digitales de los docentes como capacidades habilitantes, la IA como una tecnología emergente que requiere salvaguardas pedagógicas, la formación continua como un contexto de ejecución del desarrollo profesional y los ODS u Objetivos de Desarrollo Sostenible deben tenerse en cuenta al interpretar aspectos de la calidad para la innovación educativa, la inclusividad o la equidad social. Esta síntesis conceptual está articulada por los autores y su validez explicativa y su posible influencia necesariamente deberán probarse de manera empírica en futuras investigaciones.

Esta relación debe manejarse con cuidado porque es evidente que los estudios revisados no muestran una relación causal clara. Esta relación es una integración de las superposiciones encontradas en la literatura. Su valor reside en la creación de un límite desde el cual se pueden crear nuevos estudios empíricos.

En la Figura 4 se ilustra cómo se relaciona la competencia digital con la Inteligencia Artificial y los ODS 4, 9 y 10.

**Figura 4**

*Relación de Competencias digitales e Inteligencia Artificial y los ODS 4, 9 y 10*




*Nota.* Elaboración propia.

## 5. Conclusiones

- A través del análisis, permitió identificar un proceso evolutivo sobre cómo se ha entendido la competencia digital docente, pasando del manejo instrumental de las tecnologías a enfoques que enfatizan habilidades pedagógicas, evaluativas, comunicativas, éticas y sociales. Este cambio es particularmente importante en el ámbito de la formación continua, considerando un perfil más heterogéneo del público objetivo, mayor flexibilidad en las modalidades de formación y actualizaciones constantes. De manera similar, el análisis documental encontró tanto oportunidades de aprendizaje vinculadas a la IA —como en el diseño de recursos de aprendizaje, o la personalización del aprendizaje y la evaluación y retroalimentación—como riesgos tales como la fiabilidad de los contenidos, el sesgo algorítmico, los problemas de privacidad y la negligencia docente.
- Este estudio también realiza una contribución conceptual al proponer una articulación entre las competencias digitales de docentes y estudiantes, la Inteligencia Artificial (IA), la educación continua y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 4, 9 y 10. Con criterios de calidad educativa, innovación, inclusión y sostenibilidad, esta propuesta ofrece la posibilidad de interpretar la formación digital docente. Sin embargo, la revisión no establece dicha relación ni contribuciones específicas en volumen a los indicadores de los ODS. Por ello, la articulación que se propone debe concebirse como una síntesis interpretativa fundamentada en las problemáticas revisadas y como base para futuros procesos de validación empírica.

- Las futuras líneas de investigación incluyen el desarrollo y la validación de instrumentos para evaluar las habilidades de los docentes para el uso pedagógico y ético de la inteligencia artificial; estudios longitudinales para verificar efectos en las prácticas docentes, los resultados de aprendizaje, la ampliación de la investigación sobre formación continua en contextos latinoamericanos; así como indicadores que permitan evaluar empíricamente las posibles contribuciones de la transformación digital en la Educación con los ODS 4, 9 y 10. Estas son opciones potenciales para su implementación y no hallazgos confirmados mediante esta revisión.

## Referencias bibliográficas

Arturo Castro-Valle, L. I. (2022). Aprendizaje basado en proyectos para fortalecer el proceso de enseñanza aprendizaje. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional, ISSN-e 2550-682X, Vol. 7, Nº. 6 (JUNIO 2022), 2022, Págs. 2294-2309*, *7*(6), 2309. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042457

Basantes-Andrade, A., Cabezas-González, M., & Casillas-Martín, S. (2020). Digital Competences in e-learning. Case Study: Ecuador. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1110 AISC*, 85–94. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37221-7_8

Cabero-Almenara, J., Romero-Tena, R., & Palacios-Rodríguez, A. (2020). Evaluation of teacher digital competence frameworks through expert judgement: The use of the expert competence coefficient. *Journal of New Approaches in Educational Research*, *9*(2), 275–283. https://doi.org/10.7821/naer.2020.7.578

Castillo Martínez, C. P. (2023). *Competencia digital docente para diseño de recursos para educación continua virtual*. http://hdl.handle.net/10366/153050

Crawford, J., Butler-Henderson, K., & Rudolph, J. (2020). *View of COVID-19: 20 countries' higher education intra-period digital pedagogy responses | Journal of Applied Learning and Teaching*. https://journals.sfu.ca/jalt/index.php/jalt/article/view/191/163

García-Morales, V. J., Garrido-Moreno, A., & Martín-Rojas, R. (2021). The transformation of higher education after the COVID disruption: Emerging challenges in an online learning scenario. *Frontiers in Psychology*, *12*. https://doi.org/10.3389/FPSYG.2021.616059/FULL

Garcia-Pinilla, J. I., Pineda Miranda, B. A., Rodríguez-Jiménez, O. R., & Nicholls-Rodríguez, D. (2023). Desarrollo de competencias tecnológicas en docentes utilizando un modelo de diseño instruccional. *Educación y Educadores*, *26*(1), 1–19. https://doi.org/10.5294/edu.2023.26.1.3

Gurrola Togasi, A. M. (2021). Dimensiones de la Competencia Digital Docente: una propuesta inicial. *II Congreso Iberoamericano de Docentes*.

Higuera Sánchez, F. M., Campoy Robles, A. M., & Ocampo Cañez, B. J. (2025). Innovación tecnológica para la equidad: retos y posibilidades en la construcción de una sociedad digital inclusiva hacia los ODS 5 y 10. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera División de Ciencias Económicas y Sociales*, (44). https://doi.org/10.46589/riasf.vi44.822

Juárez, L. (2022). *Educación Continua sus ventajas y desventajas - Universidad Intercontinental*. Universidad Intercontinental. https://www.uic.mx/educacion-continua-ventajas-y-desventajas/

Juárez Osorio, O. L., Flores Mayorga, C. A., Venegas Quintana, O., & Rodríguez Estrella, D. A. (2026). Ecosistemas digitales de aprendizaje en la educación superior: perspectivas innovadoras para el desarrollo de competencias y la transformación pedagógica. *Journal of Multidisciplinary Novel Journeys & Explorations*, *4*(1), 1–27. https://doi.org/10.63688/9z69ra06

Martín-Párraga, L., Llorente-Cejudo, C., & Almenara, J. C. (2024). ICTs as a space for progress towards Sustainable Development Goal 4 (SDG4). *Revista Lusofona de Educacao*, *61*(61), 75–88. https://doi.org/10.24140/issn.1645-7250.rle61.05

Meyerhofer-Parra, R., & González-Martínez, J. (2024). Percepciones docentes sobre las competencias digitales y su uso para el bienestar digital: un análisis mixto sobre la ampliación del marco DigCompEdu. *Edutec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, *87*(87), 115–133. https://doi.org/10.21556/edutec.2024.87.2967

Pizones Bejarano, C., Fernández Scagliusi, M. V., Martínez Pérez, S., & Miravete Gracia, M. (2025). El papel de la Inteligencia Artificial Generativa en la creación de recursos educativos. *EDUCARE ET COMUNICARE Revista de Investigación de La Facultad de Humanidades*, *13*(2), 64–73. https://doi.org/10.35383/educare.v13i2.1386

Revuelta-Domínguez, F. I., Guerra-Antequera, J., González-Pérez, A., Pedrera-Rodríguez, M. I., & González-Fernández, A. (2022). Digital teaching competence: A systematic review. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(11). https://doi.org/10.3390/su14116428

Romero-García, C., Buzón-García, O., & de Paz-Lugo, P. (2020). Improving future teachers' digital competence using active methodologies. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(18). https://doi.org/10.3390/SU12187798

Sánchez Martínez, J. A., & Zamudio Montalvo, J. C. (2025). Diseño instruccional en la educación virtual mediante el modelo ADDIE, en tiempos de COVID-19. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, *5*(2), 1065–1082. https://doi.org/10.61384/r.c.a..v5i2.1185

Scavone, G. M. (2024). Análisis del posible uso de la inteligencia artificial generativa en procesos formativos. *RInCE: Revista de Investigaciones Del Departamento de Ciencias Económicas*, *15*(30), 1–23. https://doi.org/10.54789/rince.30.6

Van Vaerenbergh, S. (2024). Inteligencia artificial para potenciar la creatividad y la innovación educativa. *Revista INFAD de Psicología. International Journal of Developmental and Educational Psychology.*, *1*(1), 507–513. https://doi.org/10.17060/ijodaep.2024.n1.v1.2644

Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2: The digital competence framework for citizens*. https://doi.org/10.2760/115376

CAPÍTULO 4

# Inteligencia artificial en el borde para salud digital sobre redes de telecomunicaciones con conectividad limitada

*Edge artificial intelligence for digital health over telecommunications networks with constrained connectivity*

**1 Leandro Antonio Pazmiño Ortiz**
*Máster en Ciberseguridad / Master of Telecommunications Engineering*
Escuela Politécnica Nacional / Escuela de Formación de Tecnólogos, Ecuador
leandro.pazmino@epn.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-9241-8409

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_4 RECIBIDO 15/09/2026 | ACEPTADO 14/10/2026

## RESUMEN

La salud digital basada en dispositivos conectados puede ampliar la monitorización y el apoyo clínico más allá del hospital, pero los enfoques dependientes de la nube pierden resiliencia cuando la conectividad es intermitente, costosa o de baja capacidad. Este capítulo presenta una revisión sistematizada de la literatura sobre inteligencia artificial en el borde (Edge AI) aplicada a la salud digital, con un periodo de cobertura bibliográfica comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 9 de septiembre de 2026 y una búsqueda ejecutada y auditada el 9 de septiembre de 2026 en PubMed y OpenAlex, reportada conforme a PRISMA 2020 y PRISMA-S. Se identificaron 1 031 registros (296 en PubMed y 735 en OpenAlex). Un identificador de PubMed no pudo recuperarse en la exportación, por lo que el conjunto auditable previo a la deduplicación quedó en 1 030 registros; tras eliminar 140 duplicados por DOI y 11 tipos de publicación manifiestamente no elegibles, se cribaron 879 registros por título y resumen. Se buscaron 248 informes primarios a texto completo, de los cuales se recuperaron 129; la evaluación a texto completo produjo un corpus primario de 86 estudios con ejecución demostrada de IA en el borde y un corpus secundario de 29 revisiones. La evaluación metodológica se realizó por diseño mediante una lista estructurada de validez técnica (n = 71), QUADAS-2 (n = 10) y PROBAST (n = 5); además, las cinco revisiones sistemáticas del corpus secundario fueron consideradas para AMSTAR 2, con una revisión evaluable a texto completo y cuatro no evaluables por falta de recuperación del texto completo. Predominan los prototipos experimentales (n = 40) y las validaciones técnicas (n = 31) sobre microcontroladores (n = 28), servidores de borde (n = 27) y wearables (n = 17), con aplicaciones concentradas en cardiología (n = 20), movilidad y caídas (n = 14) y neuroseñales (n = 8). La producción se acelera desde 2024 y se concentra en India, Italia y Estados Unidos. La evaluación de calidad revela documentación limitada sobre reproducibilidad, escasez de comparadores explícitos y validación mayoritariamente retrospectiva o de laboratorio. La cuantificación, la poda y las arquitecturas compactas permiten inferencia local incluso en microcontroladores, pero la evidencia longitudinal en poblaciones rurales o desatendidas sigue siendo escasa. Se propone un modelo de referencia

funcional basado en degradación controlada, interoperabilidad, seguridad por diseño y evaluación del ciclo de vida.

**Palabras clave:** inteligencia artificial en el borde, salud digital, internet de las cosas médicas, aprendizaje automático embebido, conectividad limitada, equidad en salud

**ABSTRACT**

Digital health based on connected devices can extend monitoring and clinical decision support beyond hospitals, but cloud-dependent approaches lose resilience when connectivity is intermittent, costly, or capacity-constrained. This chapter presents a systematized, fully documented and auditable literature review on edge artificial intelligence (Edge AI) applied to digital health, covering literature published from 1 January 2020 to 9 September 2026, with the search executed and audited on 9 September 2026 in PubMed and OpenAlex and reported following PRISMA 2020 and PRISMA-S. A total of 1,031 records were identified (296 in PubMed and 735 in OpenAlex). One PubMed identifier could not be retrieved from the export, leaving 1,030 auditable records before deduplication; after removing 140 DOI duplicates and 11 manifestly ineligible publication types, 879 records were screened by title and abstract. Full texts were sought for 248 primary reports, of which 129 were retrieved; full-text assessment yielded a primary corpus of 86 studies with demonstrated edge AI execution and a secondary corpus of 29 reviews. Methodological appraisal was design-specific, using a structured technical-validity checklist (n = 71), QUADAS-2 (n = 10), and PROBAST (n = 5); the five systematic reviews in the secondary corpus were also considered for AMSTAR 2, with one review assessable in full text and four non-assessable because the full text could not be retrieved. Experimental prototypes (n = 40) and technical validations (n = 31) predominate, targeting microcontrollers (n = 28), edge servers (n = 27), and wearables (n = 17), with applications concentrated in cardiology (n = 20), mobility and falls (n = 14), and neural signals (n = 8). Output accelerates from 2024 and concentrates in India, Italy, and the United States. Quality appraisal reveals sparse reproducibility reporting, limited explicit baselines, and mostly retrospective or laboratory validation. Quantization, pruning, and compact architectures enable on-device inference even on microcontrollers, but longitudinal evidence in rural or underserved populations remains scarce. A functional reference model is proposed, based on controlled degradation, interoperability, security by design, and lifecycle evaluation.

**Keywords:** edge artificial intelligence, digital health, internet of medical things, embedded machine learning, constrained connectivity, health equity

## 1. Introducción

La salud digital contemporánea se apoya cada vez más en biosensores, dispositivos portátiles, teléfonos inteligentes, sistemas de monitorización remota y plataformas del Internet de las Cosas Médicas (IoMT). Estos sistemas producen señales fisiológicas continuas —electrocardiografía (ECG), fotopletismografía (PPG), movimiento, temperatura, saturación de oxígeno u otros indicadores— cuyo valor depende de transformar datos en información accionable con una latencia compatible con la necesidad clínica. Durante la primera etapa de esta transformación, el patrón dominante consistió en captar localmente y transmitir datos hacia centros de datos para almacenamiento y analítica. Ese modelo conserva ventajas para entrenamiento, análisis longitudinal y coordinación a gran escala, pero su dependencia de un enlace estable se vuelve una

limitación estructural cuando la red es intermitente, cara o insuficiente (Pereira et al., 2024; Rocha et al., 2024).

Esta limitación es especialmente relevante cuando la digitalización pretende ampliar el acceso. La cobertura o el uso de Internet a escala nacional no equivalen a disponibilidad continua, baja latencia, asequibilidad ni calidad de servicio en el punto de atención. En Ecuador, la ENEMDU de julio de 2025 reportó que el 80,1 % de las personas de cinco años o más había utilizado Internet en los doce meses anteriores; la proporción fue 85,3 % en áreas urbanas y 68,5 % en áreas rurales (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2025).

Estas cifras describen uso, no capacidad para sostener telemedicina síncrona o transmisión permanente de bioseñales. Un estudio localizado en hospitales generales de Imbabura encontró diferencias marcadas entre establecimientos urbanos y rurales: la dimensión de infraestructura y conectividad alcanzó 60 % en los primeros y 15 % en los segundos, mientras que el índice de viabilidad para telemedicina fue 62,5 % frente a 18,75 %, respectivamente (Armas Cárdenas et al., 2026). El estudio no puede extrapolarse a todo el país, pero ilustra cómo la disponibilidad nominal de Internet puede coexistir con restricciones operativas severas.

La inteligencia artificial en el borde responde a este problema al desplazar una parte de la inferencia desde la nube hacia el punto donde se generan los datos. En sentido amplio, Edge AI abarca un continuo de distribución del cómputo que se extiende desde dispositivos finales y microcontroladores hasta teléfonos inteligentes, pasarelas, nodos fog, infraestructura de computación de borde de acceso múltiple (Multi-access Edge Computing, MEC) y servicios en la nube.

TinyML ocupa el extremo con mayores restricciones de memoria, capacidad de cómputo y energía, donde modelos compactos pueden ejecutarse directamente sobre microcontroladores (Keivanimehr & Akbari, 2025; Pazmiño-Ortiz et al., 2026; Rocha et al., 2024). Esta distribución no elimina a la nube. En arquitecturas maduras, el entrenamiento intensivo, la supervisión de flotas, el análisis poblacional y algunas tareas de actualización permanecen en niveles superiores, mientras que el borde asume funciones sensibles a latencia, disponibilidad, privacidad o ancho de banda.

La promesa técnica es clara: si una señal se interpreta localmente, el sistema puede transmitir una alerta, una característica o un resumen en lugar del flujo crudo. Esta reducción del volumen de datos es especialmente valiosa en redes de baja tasa y gran alcance. Sin embargo, el argumento debe formularse con precisión.

LoRaWAN, por ejemplo, no impone un límite universal de 51 bytes; su presupuesto de carga útil depende de la región y de la data rate definidos por los parámetros regionales (LoRa Alliance, 2025). Aun así, las restricciones de tasa, tiempo en aire y carga útil hacen que la transmisión continua de señales biomédicas de alta resolución sea poco apropiada en numerosos modos de largo alcance. El valor de Edge AI reside, por tanto, en convertir un problema de streaming continuo en un problema de telemetría selectiva.

El segundo desafío es computacional. La literatura de TinyML ha demostrado que la cuantificación, la poda, la destilación de conocimiento y la selección de arquitecturas eficientes

pueden reducir de forma sustancial el tamaño y el costo de inferencia (Keivanimehr & Akbari, 2025; Yahyati et al., 2025). Pero la evidencia tampoco permite fijar un consumo energético universal. Existen prototipos con cifras muy bajas a nivel de modelo o núcleo de inferencia y otros sistemas completos que consumen órdenes de magnitud más debido al sensor, pantalla, radio, acondicionamiento analógico y plataforma de cómputo.

Un clasificador de arritmias de 2026 ejecutado en Arduino UNO, por ejemplo, consiguió 97,6 % de exactitud de benchmark, menos de 24 KB de memoria y aproximadamente 200 ms por latido (Zambrano-de la Torre et al., 2026), mientras que otros trabajos reportan perfiles de energía muy diferentes (Hizem et al., 2025). Comparar Edge AI exige especificar qué se mide —modelo, microcontrolador (microcontroller unit, MCU) activo o sistema completo— y bajo qué ciclo de trabajo.

La descentralización también modifica la superficie de riesgo. La permanencia local de los datos puede reducir la exposición de bioseñales crudas en tránsito, pero los dispositivos periféricos están físicamente más expuestos, deben recibir actualizaciones seguras y pueden ser objeto de extracción de claves, manipulación de firmware, ataques adversarios o inferencia sobre parámetros del modelo (Li et al., 2024; Messinis et al., 2024; Naghib et al., 2025; Shammar et al., 2025).

Del mismo modo, el aprendizaje federado no equivale automáticamente a privacidad: las actualizaciones de modelo pueden filtrar información y la comunicación iterativa puede ser prohibitiva en redes limitadas (Li et al., 2025; Mohammadi et al., 2026). La adopción de criptografía ligera estandarizada, como Ascon en NIST SP 800-232, mejora las opciones para dispositivos restringidos, pero su ventaja concreta depende de la implementación y no debe reducirse a porcentajes energéticos universales (Turan et al., 2025).

Además, la interoperabilidad es una condición de integración clínica. Los dispositivos pueden intercambiar información mediante estándares de la familia IEEE 11073 para Service-oriented Device Connectivity (SDC) en entornos de punto de atención, mientras que HL7 FHIR proporciona recursos y formatos interoperables para el intercambio de información sanitaria (HL7 International, 2023; IEEE & ISO, 2024). Una pasarela de borde puede actuar como traductor semántico, pero esa función requiere perfiles, terminologías, mapeo de identificadores, seguridad y validación; no basta con convertir un objeto local a JSON. La norma IEEE/ISO 11073-10700-2024, de hecho, advierte que implementar el protocolo SDC no demuestra por sí mismo la seguridad clínica, la efectividad ni la ciberseguridad de las funciones conjuntas (IEEE & ISO, 2024).

El vacío más importante es conceptual y empírico: resiliencia técnica no es sinónimo de inclusión sanitaria. Poder inferir sin conexión elimina una barrera, pero no resuelve por sí solo el costo total de propiedad, la capacitación, el mantenimiento, la accesibilidad para personas con discapacidad, la alfabetización digital, el sesgo demográfico, la gobernanza de datos ni la sostenibilidad. Las guías de OMS y UIT sobre telemedicina accesible sitúan la accesibilidad y la inclusión como propiedades de diseño del servicio completo, no únicamente de su conectividad (World Health Organization & International Telecommunication Union, 2024). De forma análoga, el marco regulatorio de la OMS para IA en salud exige considerar el uso previsto, la validación externa, la calidad de los datos, la supervisión y el ciclo de vida (World Health Organization, 2023).

A partir del vacío identificado, el capítulo adopta un enfoque interdisciplinario centrado en tres ejes: trazabilidad metodológica, precisión de las afirmaciones técnicas y separación entre factibilidad de ingeniería y resultados de equidad. El objetivo general es analizar cómo Edge AI puede contribuir a sistemas de salud digital resilientes en entornos con conectividad limitada, identificando arquitecturas, mecanismos de optimización, aplicaciones, beneficios, riesgos y vacíos de implementación. La revisión se estructura mediante seis preguntas de investigación (RQ1–RQ6) que conectan directamente la evidencia técnica con la seguridad, la interoperabilidad y la inclusión.

## 2. Metodología de la revisión

El capítulo se formuló como una revisión sistematizada con síntesis narrativa comparativa. PRISMA 2020 se utilizó como marco de transparencia para estructurar la identificación, selección y síntesis de la evidencia, mientras que PRISMA-S orientó la documentación de las estrategias de búsqueda (Page et al., 2021; Rethlefsen et al., 2021).

A diferencia de versiones preliminares de este capítulo, en las que no se conservaba un registro auditable de la ejecución de la búsqueda, esta versión documenta íntegramente el proceso ejecutado el 9 de septiembre de 2026: ecuaciones por base de datos, exportaciones, deduplicación, decisiones individuales de cribado y conteos por fase. Los archivos de auditoría (consultas, registros exportados, bitácora de decisiones y libro de trabajo de evaluación a texto completo) se conservan junto con los materiales del capítulo y permiten verificar cada cifra reportada.

### 2.1. Preguntas de investigación

Las preguntas se definieron para cubrir el modelo dispositivo-borde-niebla-nube (Device-Edge-Fog-Cloud), las restricciones de recursos y los resultados clínicos y sociales, sin convertir el corpus en una revisión genérica de IoT o de IA médica. La Tabla 1 presenta las seis preguntas de investigación y el tipo de evidencia requerido para responderlas.

**Tabla 1**

*Preguntas de investigación y evidencia analítica asociada*

| Código | Pregunta de investigación | Evidencia buscada |
|---|---|---|
| RQ1 | ¿Qué arquitecturas de Edge AI y tecnologías habilitadoras se utilizan en salud digital? | Ubicación de inferencia, hardware, frameworks, gateways, fog, MEC |
| RQ2 | ¿Qué enfoques permiten operar modelos de IA bajo restricciones de cómputo, memoria y energía? | Cuantificación, poda, destilación, NAS, inferencia activada por eventos |
| RQ3 | ¿Qué aplicaciones sanitarias presentan mayor madurez tecnológica y de validación? | Cardiovascular, PPG, glucosa, caídas, neuroseñales, imagen, monitorización |
| RQ4 | ¿Qué beneficios y compromisos se reportan en latencia, ancho de banda y disponibilidad? | Comparaciones extremo a extremo, costo de comunicación, operación sin conexión |
| RQ5 | ¿Qué retos de ciberseguridad, privacidad, confianza e interoperabilidad se abordan? | Criptografía ligera, actualizaciones, canales laterales, FHIR, IEEE 11073 |
| RQ6 | ¿Qué evidencia empírica existe sobre la contribución a la inclusión y la equidad? | Despliegues de campo, accesibilidad, costo, resultados de salud |

*Nota.* RQ = research question; NAS = neural architecture search; MEC = multi-access edge computing. Elaboración propia.

## 2.2. Alcance temporal, unidad de análisis y fuentes

El periodo de interés abarca del 1 de enero de 2020 al 9 de septiembre de 2026, fecha de ejecución documentada de la búsqueda. La unidad de análisis del corpus científico primario es una publicación revisada por pares —artículo original o trabajo de congreso completo— que demuestra, con métodos y resultados suficientes, la ejecución total o parcial de una función de IA en un destino de borde (microcontrolador, wearable, teléfono inteligente, gateway, nodo fog, servidor de borde o infraestructura MEC), con una aplicación sanitaria explícita. Se aceptaron publicaciones en inglés o español.

Las fuentes de búsqueda ejecutadas fueron PubMed/MEDLINE y OpenAlex, consultadas el 9 de septiembre de 2026. Se intentó además una consulta a IEEE Xplore; el acceso no devolvió resultados auditables (registros exportables con metadatos verificables), por lo que IEEE Xplore no se incluye entre las fuentes de esta versión. Esta limitación se declara explícitamente y se retoma en la sección 4.7. Las revisiones, surveys y mapeos sistemáticos recuperados durante el cribado se mantuvieron como evidencia secundaria para cartografiar el campo, mientras que normas, documentos regulatorios y estadísticas oficiales se utilizaron únicamente como fuentes contextuales. Esta separación evita mezclar rendimiento experimental con recomendaciones normativas o indicadores de conectividad.

Para preservar la validez de la síntesis se distinguen tres estratos: corpus científico primario, síntesis científica secundaria y fuentes contextuales. Las afirmaciones sobre desempeño, consumo, latencia, memoria, validación o aplicaciones se sustentan prioritariamente en estudios primarios;

las revisiones se emplean para triangulación y contextualización; y las fuentes oficiales fundamentan regulación, estándares, conectividad, accesibilidad y sostenibilidad. De forma complementaria, se utilizaron estudios técnicos adyacentes procedentes de dominios no sanitarios cuando aportaban evidencia directamente transferible a componentes de Edge AI relevantes para el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), por ejemplo, investigaciones sobre criptografía ligera o seguridad de microcontroladores. Estas publicaciones se utilizaron exclusivamente para caracterizar mecanismos técnicos y no se contabilizaron como parte del corpus primario (véase la Tabla 2).

**Tabla 2**

*Clasificación de fuentes y reglas de uso en la síntesis*

| Conjunto | Contenido | N | Uso en la síntesis |
|---|---|---|---|
| Corpus primario | Estudios con ejecución demostrada de IA en el borde y aplicación sanitaria | 86 | Base de las afirmaciones sobre desempeño, recursos y validación |
| Evidencia secundaria | Revisiones, surveys y mapeos sobre Edge AI en salud | 29 | Triangulación, cartografía del campo, localización de estudios |
| Fuentes contextuales | Normas, guías regulatorias, estadísticas oficiales, estudios técnicos adyacentes | — | Regulación, estándares, conectividad; caracterización de mecanismos técnicos |

*Nota.* Las fuentes contextuales no se contabilizan como estudios primarios. Elaboración propia con base en Page et al. (2021) y Rethlefsen et al. (2021).

## 2.3. Estrategia de búsqueda y selección: ejecución documentada

La búsqueda se ejecutó el 9 de septiembre de 2026 en dos bases de datos. En PubMed/MEDLINE se utilizó la ecuación: (“edge artificial intelligence” OR “edge AI” OR “edge intelligence” OR “on-device AI” OR “embedded machine learning” OR TinyML OR “distributed intelligence”) AND (healthcare OR medical OR biomedical OR “digital health” OR wearable OR “Internet of Medical Things” OR IoMT OR telemedicine OR “remote patient monitoring”), con filtros de fecha de publicación entre el 01/01/2020 y el 09/09/2026 e idioma inglés o español. La interfaz reportó 296 identificadores; la exportación en XML permitió parsear 295 registros (el identificador PMID 38564569 no pudo recuperarse de la exportación).

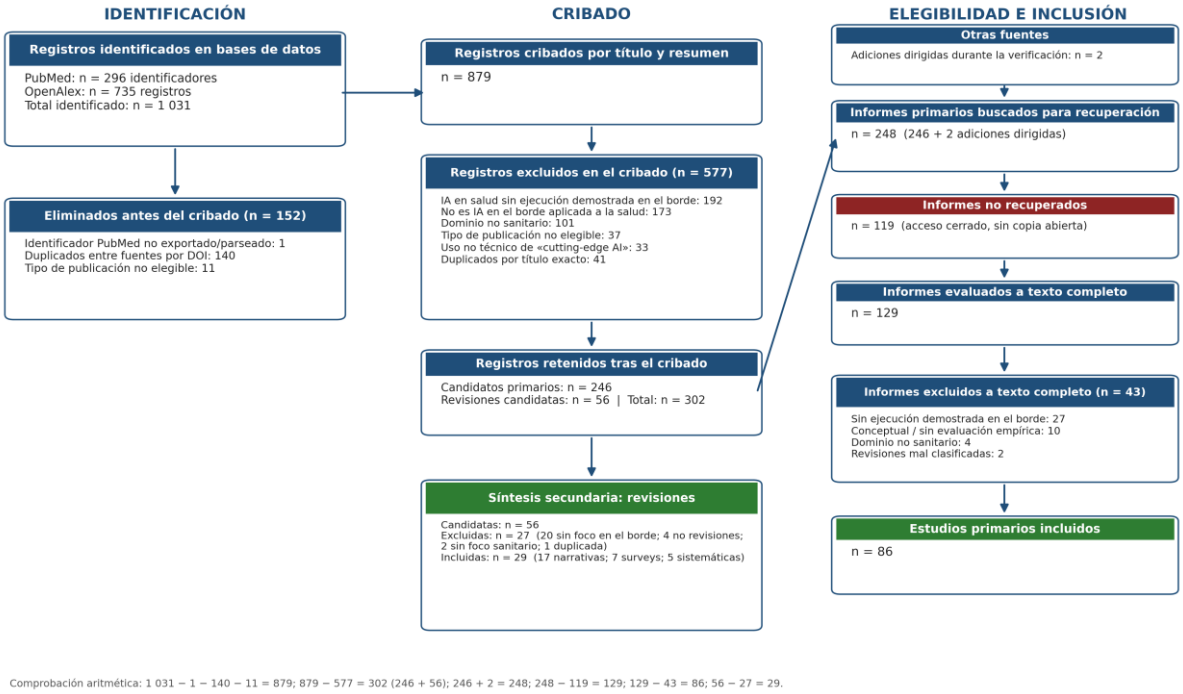
En OpenAlex se ejecutó una búsqueda equivalente por título y resumen con los mismos bloques conceptuales y filtros de fecha, idioma y tipo de documento: el estimador de la interfaz indicó 734 registros, mientras que la paginación por cursor devolvió 735 registros exportados. Esta discrepancia de un registro corresponde al comportamiento del estimador durante la exportación y se declara sin atribuirle una causa no verificada.

Se identificaron 1031 registros en las dos fuentes (296 identificadores en PubMed y 735 registros exportados de OpenAlex). Un identificador de PubMed (PMID 38564569) no pudo recuperarse en la exportación XML, de modo que el corpus auditable previo a la deduplicación

quedó constituido por 1030 registros parseados/exportados (295 de PubMed y 735 de OpenAlex). La deduplicación entre fuentes por DOI identificó 140 duplicados y dejó 890 registros únicos; posteriormente se eliminaron 11 registros por tipo de publicación manifiestamente no elegible, por lo que 879 registros pasaron al cribado por título y resumen. La Figura 1 representa de forma explícita esta aritmética y separa las dos adiciones dirigidas identificadas durante la verificación, mientras que la Tabla 3 resume los conteos por fase.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo PRISMA 2020 de la identificación, el cribado y la inclusión de estudios*




*Nota.* PubMed aportó 296 identificadores, de los cuales 295 pudieron recuperarse y parsearse; el PMID 38564569 quedó documentado como identificador no exportado. OpenAlex aportó 735 registros exportados por cursor, aunque su estimador de interfaz mostró 734. Las dos adiciones dirigidas (n = 2) se incorporaron antes de la recuperación a texto completo. Elaboración propia conforme a PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

El cribado por título y resumen se aplicó a los 879 registros con decisiones individuales registradas. Los motivos de exclusión fueron: IA en salud sin ejecución demostrada en el borde (n = 192), literatura no correspondiente a IA en el borde aplicada a la salud (n = 173), dominio no sanitario (n = 101), tipo de publicación no elegible (n = 37), uso no técnico de “cutting-edge AI” (n = 33) y duplicados por título exacto (n = 41).

En total, 577 registros fueron excluidos en esta fase. Los 56 candidatos a revisión secundaria fueron adjudicados uno por uno: se conservaron 29 (17 narrativas, 7 surveys y 5 sistemáticas) y se descartaron 27 (20 sin foco en el borde, 4 que no eran revisiones, 2 sin foco sanitario y 1 duplicada). Durante esta adjudicación se detectó un duplicado adicional dentro del conjunto de revisiones, por lo que el total de duplicados por título exacto asciende a 42.

De los 246 candidatos primarios, más dos adiciones dirigidas de estudios elegibles identificados durante la verificación (total 248), se recuperaron 129 informes a texto completo mediante acceso editorial, repositorios abiertos y manuscritos de autor. Los 119 informes no recuperados corresponden a publicaciones de acceso cerrado sin copia abierta localizable; permanecen sin evaluar y se listan en la bitácora de recuperación.

**Tabla 3**

*Flujo PRISMA 2020: conteos por fase de la ejecución documentada*

| Fase | Descripción | n |
|---|---|---|
| Identificación | Identificadores/registros identificados en PubMed | 296 |
| Identificación | Registros exportados en OpenAlex | 735 |
| Identificación | Total identificado en las fuentes | 1 031 |
| Precribado | Identificador PubMed no recuperado en la exportación XML | 1 |
| Precribado | Registros auditables parseados o exportados antes de deduplicación | 1 030 |
| Precribado | Duplicados eliminados entre fuentes por DOI | 140 |
| Precribado | Registros únicos tras deduplicación por DOI | 890 |
| Precribado | Registros eliminados automáticamente por tipo de publicación no elegible | 11 |
| Cribado | Registros cribados por título y resumen | 879 |
| Cribado | Registros excluidos en el cribado | 577 |
| Cribado | Candidatos primarios a texto completo | 246 |
| Cribado | Revisiones candidatas para síntesis secundaria | 56 |
| Otras fuentes | Adiciones dirigidas identificadas durante la verificación | 2 |
| Elegibilidad | Informes primarios buscados para recuperación (246 + 2) | 248 |
| Elegibilidad | Informes primarios no recuperados | 119 |
| Elegibilidad | Informes recuperados y evaluados a texto completo | 129 |
| Elegibilidad | Informes excluidos tras evaluación a texto completo | 43 |
| Inclusión | Estudios primarios incluidos | 86 |
| Síntesis secundaria | Revisiones excluidas tras adjudicación | 27 |
| Síntesis secundaria | Revisiones incluidas | 29 |

*Nota.* La aritmética auditada es: 1 031 − 1 − 140 − 11 = 879 registros cribados; 879 − 577 = 302 registros retenidos (246 candidatos primarios + 56 revisiones); 246 + 2 adiciones dirigidas = 248 informes primarios buscados; 248 − 119 = 129 informes evaluados; 129 − 43 = 86 estudios primarios incluidos; y 56 − 27 = 29 revisiones incluidas como evidencia secundaria. Elaboración propia.

La evaluación a texto completo excluyó 43 informes: 27 por no demostrar ejecución de IA en el borde —18 con cómputo de escritorio o en la nube sin componente de borde, y 9 reclasificados tras una readjudicación estricta por basarse en simulación (OMNeT++, Cooja o datos sintéticos) o en un procesador sustituto sin ejecución en el destino de borde declarado—, 10 por carácter conceptual sin evaluación empírica, 4 por dominio no sanitario y 2 revisiones mal clasificadas. Los 9 estudios

reclasificados se conservan como fuentes contextuales cuando aportan evidencia técnica transferible. El corpus primario final comprende 86 estudios.

## 2.4. Criterios de inclusión y exclusión

La Tabla 4 presenta los criterios operativos aplicados en las dos etapas de elegibilidad: cribado por título y resumen, y evaluación a texto completo. El criterio determinante del corpus primario fue la demostración explícita de ejecución de una función de IA en un destino de borde; los estudios que solo simulaban el despliegue en estaciones de trabajo sin un objetivo de borde identificable fueron excluidos del corpus primario y, cuando aportaban evidencia técnica transferible, considerados como fuentes contextuales.

**Tabla 4**

*Criterios operativos de inclusión y exclusión*

| Dimensión | Incluir | Excluir |
|---|---|---|
| Dominio | Aplicación clínica, sanitaria, biomédica, telemedicina o monitorización de la salud | IoT industrial, ciudades inteligentes, agricultura, transporte u otros dominios no sanitarios |
| IA en el borde | Inferencia o aprendizaje ejecutado total o parcialmente en dispositivo, wearable, teléfono, gateway, fog, servidor de borde o MEC | Dispositivo usado solo como colector pasivo; IA ejecutada únicamente en la nube o simulada en estación de trabajo sin objetivo de borde |
| Evidencia empírica | Evaluación con métodos, datos y métricas reportadas de forma verificable | Trabajos puramente conceptuales, editoriales o sin evaluación empírica |
| Tipo de publicación | Artículos originales y trabajos de congreso completos revisados por pares | Resúmenes cortos, editoriales, preprints, tesis, capítulos sin revisión identificable |
| Idioma y fecha | Inglés o español; publicación entre 2020-01-01 y 2026-09-09 | Otros idiomas; publicaciones fuera del periodo |
| Versiones múltiples | Versión de revista ampliada cuando duplica sustancialmente al congreso | Duplicados bibliográficos o versiones preliminares superadas |

*Nota.* Los códigos operativos de exclusión (E1–E8) y su correspondencia con estas dimensiones se documentan en el Apéndice B. Elaboración propia.

## 2.5. Extracción de datos y evaluación de la calidad metodológica

La ficha de extracción registró: objetivo clínico y uso previsto; población y procedencia de los datos; modalidad de señal; arquitectura y ubicación de la inferencia; hardware y entorno de ejecución; tamaño del modelo, memoria y precisión numérica; latencia de inferencia; consumo o energía por inferencia y frontera de medición; protocolo de comunicación y volumen transmitido; comportamiento ante desconexión; mecanismos de ciberseguridad; interoperabilidad; diseño de validación; comparador; métricas clínicas; y resultados de equidad o accesibilidad. Para prevenir comparaciones espurias, las métricas de recursos se comparan solo cuando comparten denominador

y frontera de medición (por ejemplo, microcontrolador activo frente a microcontrolador activo, o energía del sistema completo frente a sistema completo).

La madurez se clasificó mediante dos ejes independientes. El primero es el Technology Readiness Level (TRL), escala de nueve niveles desde principios básicos (TRL 1) hasta sistemas probados en operación (TRL 9) (National Aeronautics and Space Administration, 2023), con una adaptación operacional para Edge AI sanitario: TRL 1–2, concepto o aplicación formulada; TRL 3, prueba de concepto analítica o experimental; TRL 4, prototipo integrado validado en laboratorio; TRL 5, validación en un entorno relevante que aproxima el flujo clínico; TRL 6, demostración de un prototipo funcional en entorno relevante; TRL 7, demostración del sistema en un entorno operativo real; TRL 8, sistema completo cualificado para su uso previsto; y TRL 9, sistema utilizado de forma sostenida en operación con evidencia posdespliegue. La asignación se realiza al nivel más alto explícitamente sustentado por el estudio; el TRL no se interpreta como autorización regulatoria ni como evidencia de beneficio clínico.

El segundo eje es el nivel de madurez de validación (NMV), escala analítica definida para esta revisión: NMV1, validación retrospectiva interna o benchmark en un conjunto de datos público; NMV2, validación independiente, temporal o externa sin diseño prospectivo de impacto; NMV3, estudio prospectivo o piloto con usuarios de la población objetivo; NMV4, evaluación clínica prospectiva comparativa o multicéntrica; y NMV5, evidencia de implementación longitudinal o posdespliegue con resultados clínicos, de acceso, costos, seguridad o equidad. Esta jerarquía es una herramienta analítica del capítulo y no sustituye instrumentos formales de riesgo de sesgo ni sistemas como GRADE. Cuando la información publicada no permite una clasificación inequívoca, se registra como no reportado.

La evaluación de la calidad metodológica y, cuando correspondía al diseño, del riesgo de sesgo se aplicó a los 86 estudios primarios mediante instrumentos diferenciados. Los 10 estudios de precisión diagnóstica se evaluaron con QUADAS-2 (Whiting et al., 2011) en los dominios de selección de pacientes, prueba índice, estándar de referencia y flujo/tiempos. Los 5 modelos de predicción se evaluaron con PROBAST (Wolff et al., 2019) en participantes, predictores, desenlace y análisis.

Los 71 estudios restantes —prototipos experimentales y validaciones técnicas— se examinaron con una lista estructurada de validez técnica definida para esta revisión, centrada en la correspondencia entre plataforma y destino de borde, la ejecución real frente a simulación, la separación entre entrenamiento y prueba, la presencia de comparadores, la documentación de la frontera de medición de recursos y la suficiencia del protocolo de evaluación. Esta lista se utiliza como evaluación de calidad y validez técnica, no como sustituto de una herramienta clínica validada de riesgo de sesgo. No se calcularon puntajes agregados; cada dominio o ítem recibió un juicio sustentado y los resultados se detallan por estudio en los archivos de auditoría.

Las 29 revisiones del corpus secundario se clasificaron por tipo (17 narrativas, 7 surveys y 5 sistemáticas) y se utilizaron para triangulación. Las 5 revisiones sistemáticas se sometieron a AMSTAR 2 (Shea et al., 2017): una revisión pudo evaluarse con texto completo y obtuvo confianza global críticamente baja por defectos críticos identificados; las otras cuatro no pudieron

evaluarse formalmente porque el texto completo no fue recuperado, por lo que se registran como "no evaluables" y no se les asigna una categoría de confianza global.

Las revisiones narrativas y los surveys no se calificaron con AMSTAR 2. Tampoco se generó una calificación GRADE global, porque las RQ1–RQ6 abarcan tareas, señales, plataformas y desenlaces heterogéneos sin un efecto común susceptible de síntesis cuantitativa única. La síntesis se realiza por categorías analíticas y los resultados individuales se interpretan condicionados a su plataforma, población y protocolo.

### 2.6. Trazabilidad PRISMA y comprobaciones de consistencia

Para hacer auditable la selección, se diferencian explícitamente identificadores, registros, informes y estudios. La estrategia y los conteos de identificación se documentan en el Apéndice A; los motivos operativos de exclusión y sus códigos se presentan en el Apéndice B; y el Apéndice C enumera los 86 estudios primarios incluidos. La comprobación aritmética del flujo es completa: 1 031 identificadores/registros identificados menos 1 identificador PubMed no exportado, 140 duplicados por DOI y 11 tipos no elegibles producen 879 registros cribados; tras excluir 577 quedan 302 registros retenidos, correspondientes a 246 candidatos primarios y 56 revisiones.

A los 246 candidatos primarios se añadieron 2 estudios identificados durante la verificación, por lo que se buscaron 248 informes; 119 no se recuperaron, 129 se evaluaron a texto completo, 43 se excluyeron y 86 se incluyeron. En la rama secundaria, 56 revisiones candidatas menos 27 excluidas produjeron 29 revisiones incluidas. Estos valores son los que se reproducen en la Figura 1 y la Tabla 3.

## 3. Desarrollo de la revisión

El corpus primario comprende 86 estudios con ejecución demostrada de IA en el borde. Por metodología de evaluación, predominan los prototipos experimentales (n = 40) y las validaciones técnicas (n = 31), frente a 10 estudios de precisión diagnóstica y 5 modelos de predicción.

Para la caracterización temporal se auditó el año bibliográfico explícitamente consignado en las 86 referencias del Apéndice C: 3 estudios corresponden a 2020, 1 a 2021, 10 a 2022, 6 a 2023, 14 a 2024, 26 a 2025 y 25 a 2026; una referencia del corpus no consigna año en el registro bibliográfico consolidado y se mantiene como "no determinado" para evitar imputación. Con esta regla reproducible, 51 de 86 estudios (59,3 %) corresponden a 2025–2026, aun cuando 2026 es un año parcial con corte al 9 de septiembre.

La caracterización geográfica disponible muestra mayor representación de India (n = 14), Italia (n = 11), Estados Unidos (n = 10) y China (n = 8), seguidos por Corea del Sur (n = 4), España (n = 3) y México (n = 3). Los conteos de país explícitamente consolidados en la versión recibida suman 76 estudios; para los 10 restantes no se conserva en la tabla de extracción una asignación inequívoca

de país, por lo que se reportan como “no determinable en el registro consolidado” en lugar de imputar una afiliación.

Los destinos de borde más frecuentes son los microcontroladores (n = 28), los servidores de borde (n = 27) y los wearables (n = 17), seguidos por configuraciones con múltiples destinos (n = 7), teléfonos inteligentes (n = 6) y nodos fog (n = 2); estas categorías técnicas pueden solaparse cuando un estudio despliega más de un destino. Por aplicación sanitaria, cardiología —arritmia y ECG/PPG— es el dominio más estudiado (n = 20), seguido por movilidad, rehabilitación y detección de caídas (n = 14), neurología y neuroseñales (n = 8), monitorización general del paciente (n = 6) e imagen médica diagnóstica (n = 5). La Tabla 5 consolida la caracterización solicitada.

La evaluación metodológica y del riesgo de sesgo (Tabla 6) muestra dos patrones. En los 71 prototipos y validaciones técnicas, la ejecución en hardware real y la documentación de recursos están mejor descritas que la reproducibilidad y la caracterización de los datos: 51 estudios reportan medición en el dispositivo y 19 quedaron inciertos; el registro restante no presenta una codificación inequívoca en el resumen consolidado.

Asimismo, 55 reportan métricas de recursos; 17 describen con claridad la muestra o el conjunto de datos y 53 quedaron inciertos, con un registro no determinable; y 28 incluyen una línea base explícita y 42 quedaron inciertos, nuevamente con un registro no determinable. La reproducibilidad, evaluada mediante la disponibilidad sistemática de código y datos, quedó incierta en los 71. En QUADAS-2 (n = 10), la selección de pacientes y el estándar de referencia fueron inciertos en los 10 casos; solo un estudio alcanzó riesgo bajo en prueba índice y flujo/tiempos.

En PROBAST (n = 5), los cuatro dominios quedaron inciertos en los cinco estudios por información insuficiente. En AMSTAR 2, una de las cinco revisiones sistemáticas fue evaluable y obtuvo confianza críticamente baja; las otras cuatro se clasificaron como no evaluables por falta de texto completo. Estos resultados no invalidan el corpus, pero reducen la fuerza con la que las métricas técnicas pueden extrapolarse a eficacia clínica.

**Tabla 5**

*Caracterización del corpus primario (n = 86)*

| Dimensión | Categoría | n |
|---|---|---|
| Año de publicación | 2020 / 2021 / 2022 / 2023 / 2024 / 2025 / 2026 / no determinado | 3 / 1 / 10 / 6 / 14 / 26 / 25 / 1 |
| Metodología / diseño de evaluación | Prototipo experimental | 40 |
| | Validación técnica | 31 |
| | Precisión diagnóstica | 10 |
| | Modelo de predicción | 5 |

| Dimensión | Categoría | n |
|---|---|---|
| Destino de borde | Microcontrolador (MCU) | 28 |
| | Servidor de borde | 27 |
| | Wearable | 17 |
| | Múltiple | 7 |
| | Teléfono inteligente | 6 |
| | Fog | 2 |
| Aplicación sanitaria | Cardiología: arritmia y ECG/PPG | 20 |
| | Movilidad, rehabilitación y detección de caídas | 14 |
| | Otras aplicaciones clínicas y de salud pública | 13 |
| | Neurología y neuroseñales (EEG, crisis, BCI) | 8 |
| | Monitorización general del paciente / IoMT | 6 |
| | Imagen médica diagnóstica | 5 |
| | Asistencia a discapacidad visual | 3 |
| | Diabetes: estimación de glucosa | 3 |
| | Sueño, presión arterial, apoyo a la decisión, salud materna, seguridad del personal (2 c/u) | 10 |
| | Dispensación de medicamentos, oftalmología, UCI, bioseñales (1 c/u) | 4 |
| País (afiliación) | India / Italia / Estados Unidos / China | 14 / 11 / 10 / 8 |
| | Corea del Sur | 4 |
| | España / México | 3 / 3 |
| | Otros países (1–2 estudios c/u) | 23 |
| | No determinable en el registro consolidado | 10 |

*Nota.* Para país, los conteos explícitamente disponibles suman 76 y los 10 casos no asignables se reportan como “no determinable en el registro consolidado”. Las categorías de destino de borde pueden solaparse. La dimensión “Metodología / diseño de evaluación” resume los principales enfoques del corpus: prototipo experimental, validación técnica, precisión diagnóstica y modelo de predicción. Elaboración propia a partir de la extracción a texto completo y de la auditoría bibliográfica del Apéndice C. El año se tomó del dato explícito de cada referencia; un registro sin año no fue imputado.

**Tabla 6**

*Evaluación metodológica y del riesgo de sesgo: resumen por herramienta*

| Herramienta | n | Hallazgos principales |
|---|---|---|
| Lista estructurada de validez técnica | 71 | Medición en el dispositivo: sí 51, incierto 19, no determinable en el resumen consolidado 1. Métricas de recursos: sí 55; los 16 restantes no se desagregaron de forma inequívoca en el resumen consolidado. Muestra/datos descritos con claridad: sí 17, incierto 53, no determinable 1. Comparación con línea base: sí 28, incierto 42, no determinable 1. Reproducibilidad (código/datos): incierta en 71. Limitaciones discutidas: sí 18. Instrumento de calidad/validez técnica, no herramienta clínica validada de riesgo de sesgo. |
| QUADAS-2 (precisión diagnóstica) | 10 | Selección de pacientes: incierto 10. Prueba índice: bajo 1, incierto 9. Estándar de referencia: incierto 10. Flujo y tiempos: bajo 1, incierto 9. Dominios mayoritariamente no evaluables con certeza por información insuficiente. |
| PROBAST (modelos de predicción) | 5 | Participantes, predictores, desenlace y análisis: inciertos en los 5 estudios por información insuficiente del protocolo de validación. |
| AMSTAR 2 (revisiones sistemáticas) | 5 | Una revisión evaluable con texto completo: confianza críticamente baja por cuatro defectos críticos. Cuatro revisiones: no evaluables por falta de texto completo; no se asignó categoría de confianza global. |

*Nota.* Los juicios de QUADAS-2 y PROBAST corresponden a riesgo de sesgo por dominio; AMSTAR 2 corresponde a confianza en revisiones sistemáticas. La lista de validez técnica es un instrumento estructurado de calidad metodológica para estudios de ingeniería y no se interpreta como una herramienta clínica validada de riesgo de sesgo. "Incierto" refleja información insuficiente, no necesariamente un defecto confirmado. Elaboración propia.

## 3.1. Categoría analítica I: arquitecturas y distribución del cómputo de IA

Las revisiones recientes coinciden en que Edge AI sanitario no describe una única arquitectura, sino un continuo de ubicaciones de cómputo (Keivanimehr & Akbari, 2025; Pazmiño-Ortiz et al., 2026; Pereira et al., 2024; Rocha et al., 2024; Yahyati et al., 2025). El extremo de menor capacidad comprende microcontroladores y wearables con inferencia local; teléfonos y gateways pueden agregar datos, ejecutar modelos de mayor complejidad y traducir protocolos; servidores edge o fog concentran cargas de varios dispositivos con baja latencia; y la nube mantiene ventajas para entrenamiento intensivo, gestión de flotas, análisis poblacional y almacenamiento longitudinal. La decisión de colocación debe considerar simultáneamente latencia clínica, disponibilidad del enlace, confidencialidad, energía, memoria, costo de comunicación y requisitos de integración.

La contribución diferencial de Edge AI frente a un enfoque cloud-centric es arquitectónica: desacopla funciones sensibles al tiempo y a la disponibilidad de una conexión WAN continua. Cuando la inferencia ocurre cerca de la fuente, el sistema puede responder sin round-trip a la nube, reducir la exposición de datos crudos en tránsito, transformar streaming continuo en telemetría selectiva y mantener un subconjunto funcional durante interrupciones. Estas ventajas no convierten al borde en sustituto universal de la nube: el procesamiento local introduce límites de memoria y energía, mayor exposición física, complejidad de actualización y necesidad de observabilidad distribuida. Por ello, para conectividad limitada el patrón más robusto suele ser híbrido, con funciones críticas localizadas en el borde y capacidades no críticas o de gran escala en niveles superiores.

En el plano de interoperabilidad, IEEE 11073 SDC y HL7 FHIR ocupan roles distintos y complementarios. IEEE/ISO 11073-10700-2024 define requisitos base para participantes en un sistema de conectividad orientada a servicios en dispositivos médicos de punto de atención (IEEE & ISO, 2024). FHIR R5, por su parte, especifica recursos y representaciones —incluidos JSON y XML— para intercambio de información sanitaria (HL7 International, 2023). Un gateway puede mapear una observación o inferencia local a recursos FHIR, pero la semántica, identificación, perfilado y seguridad deben diseñarse explícitamente. No es correcto asumir que IEEE 11073 "se convierte" automáticamente en FHIR.

La Tabla 7 resume los principales patrones arquitectónicos y sus compromisos de conectividad, latencia y riesgo.

**Tabla 7**

*Patrones arquitectónicos de Edge AI en salud digital*

| Patrón | Lugar de inferencia | Dependencia de conectividad | Contribución diferencial | Riesgo/limitación |
|---|---|---|---|---|
| Cloud-centric | Centro de datos remoto | Alta y continua | Entrenamiento, escalabilidad y análisis global; administración centralizada. | Dependencia de red; latencia variable; mayor transporte de datos crudos. |
| Gateway/Fog | Teléfono, hub clínico o servidor local | LAN local; WAN puede ser intermitente | Agregación local, modelos mayores, traducción de protocolos y continuidad parcial. | Punto local de fallo; energía, mantenimiento y gestión de versiones. |
| On-device / TinyML | Sensor, wearable o MCU | Puede operar sin WAN | Respuesta inmediata, mínima telemetría, autonomía y localización de datos. | Memoria/energía limitadas; exposición física; actualización y drift. |
| Híbrida device-edge-cloud | Inferencia distribuida según criticidad | Adaptativa | Combina resiliencia local con supervisión, entrenamiento y análisis global. | Mayor complejidad de orquestación, validación, sincronización y MLOps. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de Keivanimehr y Akbari (2025), Pazmiño-Ortiz et al. (2026), Pereira et al. (2024) y Rocha et al. (2024).

## 3.2. Categoría analítica II: eficiencia bajo restricciones de recursos

La cuantificación es una de las técnicas de optimización más consolidadas en la literatura revisada. La cuantificación de FP32 a INT8 reduce teóricamente a una cuarta parte el almacenamiento requerido por los pesos y puede aprovechar instrucciones enteras eficientes. Sin embargo, la ganancia real depende de activaciones, buffers intermedios, operadores soportados y librerías. En un autoencoder de ECG de 2026, la cuantificación posentrenamiento redujo el modelo de 5,44 KB a 1,36 KB, con una disminución pequeña del F1 (88,67 % a 88,36 %) (Suryanarayanan &

Gajula, 2026; simulación en MATLAB, evidencia contextual). Este resultado demuestra eficiencia de memoria en una tarea concreta; no demuestra por sí solo consumo energético ni validez clínica.

Cuando la cuantificación posterior al entrenamiento (post-training quantization, PTQ) degrada el modelo, el entrenamiento consciente de cuantificación (quantization-aware training, QAT) puede recuperar desempeño al simular durante el entrenamiento los errores de redondeo. No obstante, la superioridad de QAT frente a PTQ no es universal y debe evaluarse por tarea. La poda elimina pesos, parámetros o canales y puede inducir dispersidad (sparsity), mientras que la destilación transfiere conocimiento de un modelo maestro a uno compacto. La búsqueda de arquitecturas y los modelos diseñados desde el inicio para microcontroladores evitan que la compresión sea una corrección tardía (Keivanimehr & Akbari, 2025; Yahyati et al., 2025).

La memoria de activaciones suele ser tan importante como el tamaño de los pesos. Por ello, una práctica de documentación adecuada debe incluir Flash/ROM, SRAM pico, arena de tensores, latencia, ciclos y frecuencia de reloj. El benchmark de Arduino UNO publicado en 2026 es ilustrativo: un 1D-CNN cuantificado para tres clases de arritmia utilizó aproximadamente 21,8 KB de Flash y 1,7 KB de SRAM, con cerca de 200 ms por latido y 97,6 % de exactitud sobre MIT-BIH (Zambrano-de la Torre et al., 2026). Los autores lo interpretan correctamente como prueba de factibilidad; las señales de voluntarios sanos se usaron para verificar el funcionamiento, no para estimar el rendimiento diagnóstico.

La energía requiere aún más cautela. Un artículo de 2025 reportó 0,024 mW para un sistema de detección de anomalías ECG optimizado (Hizem et al., 2025), mientras que prototipos que incorporan sensado, pantalla, radio o plataformas diferentes presentan presupuestos mucho mayores. Estas discrepancias no son necesariamente contradicciones: pueden reflejar límites de medición distintos. El criterio de comparación debe ser energía por inferencia o potencia media del sistema bajo un ciclo de trabajo definido, con instrumentación y condiciones descritas.

Finalmente, la eficiencia no se limita al modelo. La inferencia jerárquica y event-driven puede ejecutar un detector barato permanentemente y activar un modelo mayor solo ante eventos sospechosos. Del mismo modo, el sistema puede cambiar de política según batería, calidad de señal o conectividad. En salud digital, esta capacidad adaptativa es particularmente relevante porque la prioridad no es maximizar throughput sino conservar función segura durante largos periodos.

La Tabla 8 compara las técnicas de optimización más utilizadas y los riesgos que deben controlarse durante el despliegue.

**Tabla 8**

*Técnicas de optimización para dispositivos con recursos restringidos*

| Técnica | Qué reduce | Beneficio esperado | Riesgo para controlar |
|---|---|---|---|
| Cuantificación PTQ/QAT | Memoria y costo aritmético | Modelos INT8 con menor huella de memoria y posibilidad de cómputo entero eficiente | Pérdida de sensibilidad; operadores no soportados. |
| Poda/dispersidad (sparsity) | Parámetros y MACs | Menor cómputo si el runtime explota sparsity | Irregularidad; posible degradación de robustez. |
| Destilación | Complejidad del modelo | Estudiante compacto con comportamiento del maestro | Transferencia de sesgos y pérdida de calibración. |
| Arquitecturas eficientes / NAS | Complejidad desde el diseño | Mejor ajuste al hardware objetivo | Costo de búsqueda y dependencia de plataforma. |
| Inferencia event-driven | Duty cycle y radio/cómputo activo | Mayor autonomía | Riesgo de que el detector ligero omita eventos. |
| Offloading adaptativo | Carga local | Balance entre dispositivo, gateway y nube | Dependencia de estimación de red y políticas seguras. |

*Nota.* PTQ = post-training quantization; QAT = quantization-aware training; NAS = neural architecture search; MAC = multiply–accumulate. Elaboración propia a partir de Hizem et al. (2025), Keivanimehr y Akbari (2025), Suryanarayanan y Gajula (2026; evidencia de simulación), Yahyati et al. (2025) y Zambrano-de la Torre et al. (2026).

## 3.3. Categoría analítica III: aplicaciones sanitarias y madurez de validación

La monitorización cardiovascular es el dominio con evidencia más visible. Su combinación de señales temporales, necesidad de respuesta rápida y dispositivos portátiles ha impulsado clasificación de arritmias, detección de anomalías y estimación de eventos en hardware restringido (Hizem et al., 2025; Keivanimehr & Akbari, 2025; Suryanarayanan & Gajula, 2026; Zambrano-de la Torre et al., 2026). También aparecen aplicaciones sobre PPG, estimación no invasiva de glucosa, detección de estrés, caídas y análisis de señales multimodales (Ibrar et al., 2026; Zeynali et al., 2025). La diversidad demuestra flexibilidad técnica, pero no implica igual madurez clínica.

Un patrón recurrente es el uso de conjuntos de datos públicos para entrenamiento y evaluación, seguido por el despliegue del modelo en hardware. Ese diseño demuestra factibilidad de despliegue, pero responde de forma incompleta a la cuestión de si el sistema funciona de manera segura y generalizable en el contexto previsto. El estudio de arritmia en Arduino (Zambrano-de la Torre et al., 2026) es ejemplar porque distingue la exactitud obtenida en MIT-BIH de la prueba de funcionamiento con voluntarios. Esa separación debería ser una norma de documentación.

La estimación de glucosa mediante PPG y TinyML ilustra un área de alto interés clínico, pero con desafíos de validez, ya que factores fisiológicos, demográficos y de adquisición pueden alterar la señal (Zeynali et al., 2025). Del mismo modo, los sistemas de detección de caídas o estrés evaluados en conjuntos de datos controlados pueden degradarse al cambiar el dispositivo, la población o las actividades. La madurez de Edge AI sanitario debe valorarse por validación externa,

diversidad de usuarios, condiciones de movimiento, calidad de señal y consecuencias de falsos negativos o positivos, no únicamente por exactitud.

La Tabla 9 reúne estudios representativos para ilustrar la diversidad de aplicaciones y la diferencia entre madurez tecnológica y nivel de evidencia. Los TRL son estimaciones analíticas basadas en lo que cada publicación demuestra explícitamente; no equivalen a aprobación clínica o regulatoria.

**Tabla 9**

*Estudios representativos: madurez tecnológica y de validación*

| Estudio representativo | Aplicación / plataforma | Resultado técnico reportado | TRL / NMV y cautela interpretativa |
|---|---|---|---|
| Zambrano-de la Torre et al., 2026 | Arritmia; 1D-CNN INT8 en Arduino UNO | 97,6 % en MIT-BIH; <24 KB; ~200 ms/latido | TRL 4; NMV1. Prototipo integrado en hardware; ausencia de partición interpaciente (riesgo de fuga de datos). |
| Hizem et al., 2025 | Anomalía ECG; edge/TinyML | 92,3 % y 0,024 mW reportados | TRL 4; NMV1. Validación técnica; la cifra energética solo es comparable dentro de su frontera de medición. |
| Zeynali et al., 2025 | Glucosa no invasiva con PPG y TinyML | STM32H743IIT6; 6 388 sujetos/35 358 registros + 67 externos; RMSE 19,7 mg/dL; 100 % Clarke A+B; 6,4 s/inferencia | TRL 4–5; NMV2. Validación externa incluida; la generalización depende de la variabilidad fisiológica. |
| Ibrar et al., 2026 | Detección de caídas multimodal; TinyML federado (TinyCFL) | ESP32-CAM, Nano 33 y Arduino UNO; exactitud 98,95 %, AUC 99,92 % | TRL 4; NMV1. Colaboración federada demostrada en hardware; falta validación prospectiva. |
| Abdullah et al., 2026 | Apnea del sueño; transformer evolutivo en Raspberry Pi 4 | <2 W; 72 h de operación offline; sincronización HL7/FHIR | TRL 5; NMV2. Operación prolongada sin conexión; métricas casi perfectas con n = 17 en prueba (cautela). |
| Wakili & Bakkali, 2026 | Arquitectura móvil offline; smartphones de entrada | Random Forest 98,25 %, <100 ms (repositorio público); usabilidad exploratoria | Texto completo no recuperado: sin evaluación formal. Cifras procedentes del repositorio de código, no del artículo. |

*Nota.* Los resultados corresponden a las condiciones experimentales de cada estudio y no son directamente comparables. Suryanarayanan y Gajula (2026) se reclasificó como evidencia contextual por basarse en simulación en MATLAB sin ejecución en el destino de borde. TRL = technology readiness level; NMV = nivel de madurez de validación definido para esta revisión. Elaboración propia.

## 3.4. Categoría analítica IV: conectividad, latencia, ancho de banda y disponibilidad

Uno de los beneficios de Edge AI mejor sustentados conceptual y experimentalmente en la literatura revisada es la reducción del volumen de datos que debe transportarse hacia

infraestructuras remotas. En monitorización continua, el costo de comunicación suele superar el de una inferencia local ligera, especialmente cuando la radio debe permanecer activa o cuando el enlace se tarifa por volumen o energía. El procesamiento local permite transmitir estados, características, scores o fragmentos seleccionados, manteniendo en el dispositivo el flujo de alta frecuencia.

LoRaWAN constituye un caso ilustrativo. La especificación regional vigente RP002-1.0.5 define parámetros que varían por región y data rate (LoRa Alliance, 2025); por ello, 51 bytes es un valor posible en ciertos modos de baja tasa, no un límite universal. La conclusión de ingeniería permanece: los modos de gran alcance operan con presupuestos de datos pequeños y restricciones de tiempo en aire, por lo que el streaming de bioseñales no es el uso natural de LPWAN. Edge AI puede transformar la aplicación hacia mensajes esporádicos de alarma, calidad, tendencia o resumen.

La arquitectura offline-first incorpora persistencia local y permite preservar funciones previamente definidas durante periodos sin conectividad WAN. Ante pérdida de WAN, el sistema debe conservar la decisión, el contexto mínimo, la marca temporal, la calidad de señal y la proveniencia necesaria para una reconciliación posterior. El patrón store-and-forward es más apropiado que una dependencia de sincronización continua. Cuando regresa el enlace, el gateway puede sincronizar recursos interoperables y aplicar políticas de prioridad, evitando que una cola histórica desplace una alerta urgente.

La latencia también debe medirse end-to-end. Una inferencia de 10 ms no garantiza una alerta de 10 ms si el sistema espera una ventana de señal de varios segundos, realiza filtrado, acceso a almacenamiento o actualización de interfaz. La evaluación correcta descompone adquisición, preprocesamiento, inferencia, decisión, comunicación y presentación. Para un sistema de apoyo clínico, la métrica relevante es el tiempo hasta una acción segura y no únicamente el tiempo del kernel neuronal.

La Tabla 10 relaciona los beneficios potenciales de red con los mecanismos Edge AI que los producen y las métricas necesarias para verificarlos.

**Tabla 10**

*Beneficios de red, mecanismos Edge AI y métricas de evaluación*

| Beneficio potencial | Mecanismo Edge AI | Compromiso introducido | Métrica recomendada |
|---|---|---|---|
| Menor ancho de banda | Inferencia y extracción local de características | Pérdida de información si solo se transmite la decisión | Bytes/evento, radio-on time, tasa de eventos y política de envío. |
| Menor latencia | Decisión cerca del sensor | Modelo local más pequeño o menos preciso | Latencia end-to-end y percentiles, no solo inferencia. |
| Mayor disponibilidad | Operación offline y store-and-forward | Estado local que debe reconciliarse | Tiempo útil sin WAN, pérdida de eventos, consistencia tras recuperación. |
| Menor dependencia de nube | Funciones mínimas autónomas | Complejidad de ciclo de vida en el dispositivo | Capacidad funcional por estado de conectividad. |
| Potencial ahorro energético | Menos transmisiones | Cómputo local consume energía | Energía por inferencia (J/inferencia), energía por evento transmitido (J/evento) y energía total del sistema bajo un ciclo de trabajo definido |

*Nota.* WAN = wide area network. Elaboración propia a partir de LoRa Alliance (2025), Rocha et al. (2024) y Wakili y Bakkali (2026; texto completo no recuperado: caracterización basada en metadatos y repositorio público).

## 3.5. Categoría analítica V: ciberseguridad, privacidad, confianza e interoperabilidad

El procesamiento en el borde permite mantener localmente determinados datos y reducir la transmisión de bioseñales crudas; sin embargo, esta residencia local de los datos no debe equipararse automáticamente con una mayor privacidad. Las revisiones de seguridad IoMT identifican amenazas en autenticación, comunicaciones, malware, disponibilidad, acceso físico e integridad del dispositivo (Messinis et al., 2024; Naghib et al., 2025; Shammar et al., 2025). Cuando la IA se ejecuta en el extremo, a estas amenazas se añaden robo o sustitución del modelo, manipulación de entradas, deriva no detectada, ataques a la cadena de actualización y filtraciones derivadas de telemetría o entrenamiento distribuido.

Los canales laterales ejemplifican el problema físico. TinyPower mostró que las trazas de potencia o electromagnéticas pueden explotarse mediante redes neuronales podadas para recuperar claves del Advanced Encryption Standard (AES) en microcontroladores y matrices de puertas programables en campo (field-programmable gate arrays, FPGA) (Li et al., 2024). El estudio no es sanitario, pero resulta directamente relevante como modelo de amenaza para dispositivos médicos físicamente accesibles. La defensa requiere una combinación de implementaciones criptográficas resistentes, aislamiento, diseño de hardware, control de acceso y evaluación específica de side channels.

NIST estandarizó en 2025 la familia Ascon para criptografía ligera en dispositivos restringidos, incluyendo Ascon-AEAD128 y funciones hash/XOF (Turan et al., 2025). Este respaldo es más sólido que afirmar ahorros energéticos fijos frente a AES. La ventaja de Ascon es ofrecer una

alternativa estandarizada de criptografía ligera para dispositivos restringidos; cualquier comparación con AES debe realizarse sobre el MCU, compilador y modo de operación concretos. La guía FDA de febrero de 2026 refuerza que la ciberseguridad de dispositivos médicos debe gestionarse dentro del sistema de calidad y del ciclo de vida, no como una capa añadida al final (U.S. Food and Drug Administration, 2026).

El aprendizaje federado puede reducir la centralización de datos, pero conserva costos de comunicación, heterogeneidad de datos no independientes ni idénticamente distribuidos (non-IID), ataques a actualizaciones y riesgo de fuga. Una revisión de 2025 concluyó que gran parte de la literatura de FL en salud no estaba preparada para uso clínico por problemas de privacidad, generalización, sesgo y costo de comunicación (Li et al., 2025). Los diseños federados para TinyML, como TinyCFL (Ibrar et al., 2026), son relevantes porque aproximan la colaboración al hardware real, aunque su adopción en redes intermitentes exige compresión, selección de clientes, sincronización tolerante a fallos y evaluación de energía.

La privacidad diferencial agrega garantías formales, pero introduce un trade-off cuantificable. Una revisión de 2026 encontró que presupuestos de privacidad más estrictos pueden degradar el rendimiento y, en algunos casos, ampliar brechas entre subgrupos (Mohammadi et al., 2026). Para Edge AI orientado a la inclusión, esto significa que privacidad, exactitud y equidad deben auditarse conjuntamente. El uso de DP o FL no garantiza por sí mismo una mayor equidad.

En seguridad clínica, privacidad e interoperabilidad, las normas y guías convergen en un enfoque de ciclo de vida. La OMS destaca el uso previsto, la validación externa, la calidad y representatividad de los datos, la protección de la privacidad, la supervisión y la monitorización (World Health Organization, 2023). Los principios de Good Machine Learning Practice añaden la necesidad de datos representativos, independencia adecuada de los conjuntos de prueba, evaluación del equipo humano-IA, información clara al usuario y seguimiento del modelo desplegado (U.S. Food and Drug Administration, 2025). IEEE 11073 SDC aporta mecanismos de interoperabilidad de dispositivos, mientras FHIR aporta intercambio semántico de información (HL7 International, 2023; IEEE & ISO, 2024). Ninguno reemplaza el análisis de riesgos clínicos ni la validación end-to-end del comportamiento conjunto.

La Tabla 11 organiza las principales superficies de ataque y las mitigaciones prioritarias para un sistema Edge AI sanitario.

**Tabla 11**

*Superficies de ataque, mitigaciones y fuentes de evidencia*

| Superficie | Amenaza relevante | Mitigaciones prioritarias | Evidencia/estándar |
|---|---|---|---|
| Dispositivo físico | Extracción de claves/modelo, manipulación, side channels | Secure boot, almacenamiento de claves, aislamiento, hardening, pruebas físicas | TinyPower (Li et al., 2024); FDA (U.S. Food and Drug Administration, 2026). |
| Firmware/modelo | OTA maliciosa, reversión a una versión anterior (rollback), modelo obsoleto, drift | Firmas, versionado, rollback protection, monitorización y plan de actualización | FDA (U.S. Food and Drug Administration, 2026); OMS (World Health Organization, 2023). |
| Comunicación | Intercepción, replay, DoS | AEAD, autenticación mutua, rate limiting, redundancia | NIST Ascon (Turan et al., 2025); revisiones IoMT (Messinis et al., 2024; Naghib et al., 2025; Shammar et al., 2025). |
| Aprendizaje distribuido | Inversion/poisoning, clientes heterogéneos, alto tráfico | Secure aggregation, DP, robust aggregation, selección de clientes, compresión | FL healthcare (Li et al., 2025); DP (Mohammadi et al., 2026). |
| Interoperabilidad | Mapeo semántico incorrecto, pérdida de contexto | Perfiles, terminologías, proveniencia, validación de recursos y pruebas de integración | FHIR (HL7 International, 2023); IEEE 11073 SDC (IEEE & ISO, 2024). |
| Uso clínico | Automation bias, falsas alarmas, falta de generalización | Human-in-the-loop, uso previsto, validación externa, monitorización posdespliegue | OMS (World Health Organization, 2023). |

*Nota.* Las fuentes específicas se indican en la última columna; las medidas deben interpretarse dentro de un proceso de gestión de riesgos y ciclo de vida. AEAD = authenticated encryption with associated data; DoS = denial of service; DP = differential privacy; FL = federated learning; OTA = over-the-air. Elaboración propia.

## 3.6. Categoría analítica VI: inclusión digital, equidad y sostenibilidad

La evidencia revisada permite diferenciar con claridad la resiliencia técnica de la equidad sanitaria. Edge AI puede preservar determinadas funciones de inferencia y alerta cuando la conectividad WAN es intermitente o inexistente; sin embargo, esta capacidad no demuestra por sí sola mejoras de equidad. La transición desde la resiliencia técnica hacia resultados de inclusión depende de la infraestructura, la asequibilidad, los recursos humanos, la accesibilidad, el diseño del servicio, la integración clínica y los resultados sanitarios. Por tanto, la contribución de Edge AI a la equidad debe considerarse una hipótesis de impacto que requiere validación empírica.

El contexto ecuatoriano ilustra el problema. El uso de Internet fue menor en zonas rurales que urbanas en 2025 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2025), y el estudio de hospitales generales de Imbabura documentó una viabilidad de telemedicina muy baja en establecimientos rurales (Armas Cárdenas et al., 2026). Edge AI podría reducir el requisito de conexión continua en algunos flujos de monitorización, pero no resuelve problemas de disponibilidad de equipos, capacitación, mantenimiento, suministro eléctrico, referencia clínica o integración con el sistema

nacional. Por ello, el caso ecuatoriano justifica investigar soluciones offline-first, pero no permite afirmar que Edge AI ya haya mejorado indicadores de salud.

La arquitectura RuralEdgeHealth de 2026 constituye una evidencia más directa de factibilidad en entornos restringidos: ejecuta clasificación en teléfonos Android de entrada, integra almacenamiento cifrado y reporta una evaluación exploratoria de usabilidad (Wakili & Bakkali, 2026). Los propios autores la presentan como fase de factibilidad y no como evidencia definitiva de impacto poblacional. Esa cautela debería extenderse a toda la literatura de Edge AI "inclusiva".

La accesibilidad también excede la conectividad. El conjunto de herramientas OMS-UIT de 2024 enfatiza barreras para personas con discapacidad y otras poblaciones marginadas (World Health Organization & International Telecommunication Union, 2024). En un sistema Edge AI, una alarma local que no puede ser percibida, comprendida o accionada por el usuario no es inclusiva, aunque funcione offline. Deben incorporarse multimodalidad, lenguaje claro, localización cultural, compatibilidad con tecnologías de apoyo, posibilidad de asistencia y rutas de escalamiento humano.

El sesgo de datos es otra dimensión. Los modelos compactos suelen entrenarse en conjuntos de datos de referencia porque reducen los costos de desarrollo; sin embargo, las prestaciones pueden variar entre poblaciones, sensores y condiciones de adquisición. La compresión no crea el sesgo, pero puede interactuar con él. La privacidad diferencial añade otro compromiso porque los subgrupos pequeños pueden sufrir un mayor deterioro (Mohammadi et al., 2026). La evaluación de equidad requiere métricas desagregadas y validación local.

Finalmente, la sostenibilidad no puede omitirse. El Global E-waste Monitor 2024 estimó que en 2022 se generaron 62 millones de toneladas de residuos electrónicos y que solo el 22,3 % se documentó como formalmente recolectado y reciclado (International Telecommunication Union & United Nations Institute for Training and Research, 2024). Esta cifra es global y no mide específicamente dispositivos médicos Edge AI; sirve como señal de contexto. El diseño para zonas de recursos limitados debería considerar vida útil, baterías reemplazables o recargables, reparabilidad, disponibilidad de repuestos y planes de fin de vida. Una solución barata de adquirir, pero cara de mantener puede profundizar la inequidad.

La Tabla 12 diferencia los aportes potenciales de Edge AI de los determinantes que requieren intervención organizacional, económica o social.

**Tabla 12**

*Dimensiones de inclusión y métricas para evaluar equidad*

| Dimensión de inclusión | Qué puede aportar Edge AI | Qué Edge AI no resuelve por sí solo | Indicador de evaluación |
|---|---|---|---|
| Conectividad | Inferencia offline; telemetría esporádica | Cobertura física para escalamiento o sincronización | Horas/días operativos sin WAN; eventos sincronizados. |
| Asequibilidad | Menos tráfico y posible hardware de bajo costo | TCO, reposición, licencias, soporte y energía | Costo por paciente/año; costo por evento clínicamente útil. |
| Accesibilidad | Alertas locales y apps offline | Discapacidad, lenguaje, alfabetización y usabilidad | Tasa de éxito, errores de uso y cumplimiento de criterios de accesibilidad aplicables (p. ej., WCAG para interfaces digitales) |
| Equidad algorítmica | Personalización/potencial de adaptación local | Representatividad de dataset y sesgo estructural | Sensibilidad/especificidad/calibración por subgrupo. |
| Capacidad del sistema | Menor dependencia de centros de datos | Personal, protocolos clínicos, referencia y mantenimiento | Tiempo a intervención; carga de trabajo; disponibilidad del servicio. |
| Sostenibilidad | Menos tráfico/cómputo remoto en algunos casos | Baterías, obsolescencia, e-waste | Vida útil, reparabilidad, energía total y fin de vida. |

*Nota.* TCO = costo total de propiedad; WCAG = Web Content Accessibility Guidelines; WAN = wide area network. Elaboración propia a partir de Armas Cárdenas et al. (2026), Instituto Nacional de Estadística y Censos (2025), International Telecommunication Union y United Nations Institute for Training and Research (2024), y World Health Organization e International Telecommunication Union (2024).

## 3.7. Síntesis transversal: vacíos de investigación y requisitos mínimos de reporte

La síntesis muestra que la frontera de investigación ha pasado de demostrar la factibilidad de ejecutar IA en el borde a demostrar que un sistema completo puede mantenerse seguro, interoperable y clínicamente útil durante su ciclo de vida. Los vacíos prioritarios son los siguientes:

- Validación prospectiva y externa: realizar más estudios con TRL 5–7 y NMV3–NMV5, con pacientes, múltiples centros y condiciones de uso reales.
- Evaluación comparativa reproducible de recursos (benchmarking): distinguir la energía atribuible a la inferencia, el consumo del microcontrolador durante la ejecución, el consumo de la radio y el consumo energético del sistema completo; reportar energía por inferencia, potencia media y ciclo de trabajo bajo condiciones explícitamente definidas.
- Robustez frente al ruido y la deriva: evaluar movimiento, sensores distintos, cambios demográficos y degradación del dispositivo.
- Ciclo de vida seguro: actualizaciones firmadas, inventario de versiones, monitorización de deriva, reversión segura (rollback) y respuesta a vulnerabilidades.
- Interoperabilidad verificable: perfiles FHIR y especificaciones IEEE 11073, proveniencia, terminologías y pruebas end-to-end con EHR.

- Evidencia de inclusión: medir acceso, uso, costo, tiempo a atención, abandono, resultados y brechas por subgrupo.
- Evaluación económica y ambiental: costo total de propiedad, mantenibilidad, reparabilidad, baterías y fin de vida.

## 4. Discusión

La evidencia revisada permite reformular el papel de Edge AI en salud digital con mayor precisión. Su aporte principal no es reemplazar la nube, sino distribuir funciones para que las tareas clínicamente críticas no dependan de la disponibilidad instantánea de un centro remoto. Esta diferencia es particularmente relevante en redes intermitentes o costosas, donde la resiliencia depende de definir estados operativos, prioridades de telemetría, almacenamiento local, sincronización, ciberseguridad y supervisión humana (human-in-the-loop). En consecuencia, la unidad real de evaluación no debe ser el modelo aislado, sino el sistema sociotécnico completo: sensor, dispositivo, enlace, software, personal, flujo clínico, mantenimiento y gobernanza.

### 4.1. Compromisos estructurales (trade-offs)

El primer compromiso contrapone la complejidad del modelo y el presupuesto de recursos. Reducir parámetros y precisión numérica puede hacer viable el despliegue, pero la exactitud promedio no es suficiente: deben preservarse sensibilidad, calibración y desempeño en subgrupos clínicamente relevantes. La compresión debe incorporarse a la validación, no tratarse como una etapa de ingeniería posterior.

El segundo compromiso contrapone la localización de los datos y la superficie de ataque. Mantener los datos en el dispositivo reduce la exposición en tránsito y el almacenamiento central, pero incrementa la importancia del firmware, el hardware, las actualizaciones y el acceso físico. La seguridad “del borde” debe presupuestarse en memoria, cómputo y energía desde el diseño.

El tercer compromiso contrapone autonomía y gobernanza. Un dispositivo capaz de inferir sin red debe saber qué acciones están autorizadas durante la desconexión. En aplicaciones de apoyo al diagnóstico, una alerta local puede ser apropiada; una acción terapéutica autónoma exige un nivel de validación y control mucho mayor. La degradación funcional controlada no implica mantener toda la funcionalidad, sino preservar el subconjunto de funciones previamente definido como seguro, útil y autorizado para el estado operativo correspondiente.

El cuarto compromiso contrapone privacidad colaborativa y costo de comunicación. FL reduce la necesidad de centralizar datos, pero puede demandar múltiples rondas de transferencia y no elimina los ataques de inferencia. En conectividad limitada, un esquema jerárquico, asincrónico o con clientes seleccionados puede ser preferible, pero debe evaluarse frente a una línea base local y no asumirse superior por definición.

## 4.2. Propuesta: modelo de referencia funcional para Edge AI resiliente y orientado a la inclusión

A partir de la evidencia revisada y de las limitaciones identificadas, se propone un modelo de referencia funcional para Edge AI resiliente y orientado a la inclusión en salud digital bajo condiciones variables de conectividad. El modelo formaliza la adaptación de las funciones del sistema ante cambios en la disponibilidad y calidad del enlace mediante degradación funcional controlada, persistencia local, priorización de comunicaciones y recuperación segura. Asimismo, incorpora como requisitos transversales la interoperabilidad, la ciberseguridad, la privacidad, la accesibilidad, la representatividad de los datos, la sostenibilidad y la evaluación de equidad. El modelo constituye una síntesis conceptual derivada de las RQ1–RQ6 y no representa una arquitectura específica de implementación, una norma técnica ni un sistema clínicamente validado.

La Figura 2 presenta un modelo de referencia funcional basado en modos operativos para Edge AI en salud digital bajo conectividad variable. El modelo se organiza en dos dimensiones complementarias. La primera representa la cadena funcional del sistema, desde la adquisición de datos y la inferencia local hasta la persistencia, la comunicación y los servicios proporcionados por pasarelas o infraestructura en la nube. La segunda representa cuatro modos operativos determinados por las condiciones de conectividad: conectado, degradado, desconectado y recuperación.

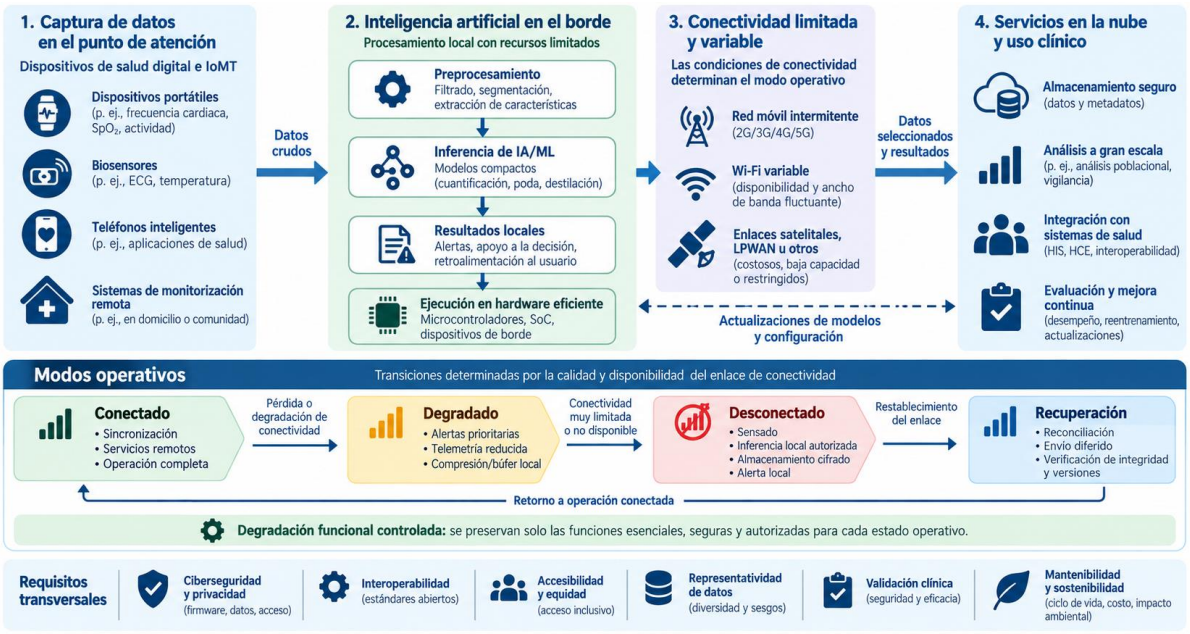
Ante la degradación o pérdida del enlace, las funciones del sistema se adaptan mediante mecanismos de degradación funcional controlada, preservando localmente aquellas capacidades previamente definidas como esenciales, seguras y autorizadas para el uso previsto. Una envolvente transversal incorpora requisitos de ciberseguridad, privacidad, interoperabilidad, accesibilidad, representatividad de los datos, validación clínica, mantenibilidad y sostenibilidad.

El modelo contempla cuatro modos operativos: conectado, degradado, desconectado y recuperación. En modo conectado, el sistema puede sincronizar datos, políticas y modelos de acuerdo con su uso previsto. En modo degradado, prioriza alertas y reduce la telemetría no esencial. En modo desconectado, conserva adquisición, inferencia local autorizada, interacción segura y almacenamiento cifrado, mientras que las funciones que requieren contexto remoto quedan suspendidas o se sustituyen por procedimientos humanos previamente definidos. Durante la recuperación, el sistema sincroniza información según prioridades, conserva la proveniencia, verifica la integridad y las versiones, y resuelve conflictos antes de restablecer el funcionamiento completo.

La Tabla 13 resume los cuatro modos operativos del modelo de referencia funcional propuesto y los controles que deben preservarse ante cambios en las condiciones de conectividad.

## Figura 2

*Modelo de referencia funcional basado en modos operativos para Edge AI en salud digital bajo conectividad variable*




*Nota.* La figura representa un modelo de referencia funcional conceptual y no una arquitectura específica de implementación, un dispositivo clínico concreto ni un sistema clínicamente validado. Elaboración propia a partir de la síntesis narrativa de la evidencia revisada.

## Tabla 13

*Modos operativos y controles del modelo de referencia funcional propuesto*

| Estado | Funciones que continúan | Funciones que se restringen | Controles críticos |
|---|---|---|---|
| Conectado | Inferencia local + sincronización + servicios remotos | No se restringen funciones por conectividad; permanecen las restricciones clínicas, de seguridad y de política definidas para el uso previsto | Autenticación, monitorización, versionado y QoS |
| Degradado | Inferencia local, alertas prioritarias, resumen | Telemetría no esencial, entrenamiento federado intensivo | Priorización, política de reintentos y control de congestión, compresión y búfer local |
| Desconectado | Sensado, inferencia local autorizada para operación desconectada según el uso previsto, alerta local y persistencia | Consulta a servicios en la nube, actualización remota y agregación global | Estado seguro, supervisión humana, cifrado local, reloj confiable y preservación de proveniencia |
| Recuperación | Reconciliación, envío diferido, verificación de versión | Acciones automáticas que dependan de datos no reconciliados | Orden de prioridad, idempotencia, integridad y auditoría |

*Nota.* El modelo constituye una propuesta funcional derivada de la síntesis narrativa y no representa por sí mismo una arquitectura específica de implementación ni un sistema clínicamente validado. QoS = quality of service. Elaboración propia.

### 4.3. Implicaciones para Ecuador y otros entornos de conectividad desigual

En Ecuador, la brecha urbano-rural observada en el uso de Internet y en la viabilidad institucional de la telemedicina justifica explorar arquitecturas que no necesiten conectividad permanente (Armas Cárdenas et al., 2026; Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2025). El argumento es extensible, con cautela, a países y regiones donde coexisten cobertura nominal, baja capacidad, interrupciones eléctricas, costos de datos elevados, limitada disponibilidad de especialistas y heterogeneidad de equipamiento. En estos contextos, la ventaja de Edge AI no reside solo en disminuir la latencia, sino en reducir la dependencia de servicios remotos para funciones mínimas seguras. Sin embargo, una arquitectura técnicamente autónoma puede fracasar si no existen repuestos, personal capacitado, procesos de calibración, soporte de firmware, rutas de escalamiento clínico o presupuesto para reposición.

Para centros de salud o brigadas móviles, un teléfono de entrada puede ser un gateway más realista que un servidor fog dedicado; para wearables de larga duración, un MCU puede filtrar y detectar eventos; y para hospitales con LAN estable, un servidor local puede ejecutar modelos mayores y traducción FHIR. La selección tecnológica debe partir del flujo clínico: evento que se debe detectar, actor responsable, tolerancia a la desconexión, consecuencias de falsos negativos o positivos, datos mínimos que se deben conservar y tiempo máximo hasta la intervención.

Solo después se definen el hardware, el enlace y la ubicación de la inferencia. En países con brechas tecnológicas, la escalabilidad depende además de compras públicas sostenibles, disponibilidad regional de componentes, documentación en el idioma local, formación técnica y capacidad de operar durante fallos parciales; replicar una solución urbana sin rediseñarla para el contexto suele trasladar, en lugar de resolver, la dependencia de infraestructura.

### 4.4. Sostenibilidad económica, mantenimiento y escalabilidad

La sostenibilidad económica debe evaluarse mediante el costo total de propiedad (TCO), no únicamente por el precio del dispositivo. Una solución Edge AI puede reducir el gasto de transmisión o de uso de la nube, pero trasladar costos a la adquisición de gateways, el almacenamiento local, el reemplazo de baterías, la calibración, la gestión de claves, la actualización de firmware, la monitorización de la deriva del modelo, el soporte de campo y la reposición por obsolescencia.

En despliegues rurales, los costos logísticos y el tiempo fuera de servicio pueden superar el valor del hardware. Por ello, los estudios deberían reportar el costo por paciente/año, el costo por evento clínicamente útil, la vida esperada, la frecuencia de mantenimiento y los recursos humanos requeridos, además de comparar con alternativas realistas como cloud-only, store-and-forward sin IA o procesos clínicos convencionales.

La escalabilidad introduce un segundo problema: administrar cientos o miles de nodos convierte una prueba de concepto en una operación MLOps/DevSecOps distribuida. La operación requiere inventario de activos, identidad de dispositivo, telemetría mínima, actualización segura y recuperable, políticas de compatibilidad de modelos, observabilidad del rendimiento, detección

de deriva y mecanismos para retirar versiones inseguras. La arquitectura debe tolerar que una parte de la flota permanezca temporalmente desactualizada por falta de conectividad sin producir estados clínicos incoherentes. El diseño modular, el uso de estándares interoperables y la separación entre funciones clínicas críticas y servicios auxiliares favorecen el escalamiento y la sustitución tecnológica, mientras que las dependencias propietarias rígidas pueden aumentar el lock-in y los costos del ciclo de vida.

### 4.5. Regulación, ética y gobernanza de datos clínicos en el borde

La ejecución local no elimina las obligaciones regulatorias asociadas al uso de IA en salud. La OMS enfatiza un uso previsto claramente definido, validación externa, calidad y representatividad de los datos, supervisión humana, ciberseguridad, documentación y monitorización durante el ciclo de vida (World Health Organization, 2023). De forma complementaria, los principios internacionales de Good Machine Learning Practice destacan equipos multidisciplinarios, separación apropiada entre conjuntos de datos, evaluación del desempeño del equipo humano-IA, información clara al usuario y monitorización de modelos desplegados (U.S. Food and Drug Administration, 2025). En Edge AI estos requisitos deben materializarse en controles que funcionen aun cuando la conectividad sea limitada: versionado local, trazabilidad de inferencias, registro de configuración, detección de fallos, actualización firmada y estados seguros ante pérdida de sincronización.

La privacidad requiere gobernar todo el ciclo del dato, no solo evitar que la señal cruda viaje a la nube. Deben definirse finalidad, base jurídica, minimización, retención local, cifrado en reposo y tránsito, gestión de claves, acceso basado en roles, borrado, respaldo, sincronización y tratamiento de telemetría. Las actualizaciones de modelos, los registros (logs) y los gradientes federados también pueden revelar información sensible.

En Ecuador, la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales reconoce los datos de salud como categorías de protección reforzada y exige principios de licitud, finalidad, proporcionalidad, seguridad y responsabilidad; su Reglamento General desarrolla las obligaciones aplicables al tratamiento (Asamblea Nacional del Ecuador, 2021; Presidencia de la República del Ecuador, 2023). Por tanto, una implementación sanitaria debe incorporar la evaluación de riesgos de privacidad y seguridad desde el diseño, especialmente cuando procesa datos biométricos, monitorización continua o decisiones automatizadas.

Desde la ética, la autonomía técnica del dispositivo aumenta la necesidad de límites explícitos a la autonomía decisional. Debe distinguirse entre una inferencia informativa, una alerta que requiere confirmación humana y una acción terapéutica automatizada. El nivel de supervisión debe ser proporcional al riesgo del uso previsto. Además, equidad, accesibilidad y privacidad pueden entrar en tensión: una política de minimización demasiado agresiva puede eliminar datos necesarios para auditar sesgos; una técnica de privacidad diferencial puede degradar más el desempeño de subgrupos pequeños; y una interfaz offline puede excluir a usuarios con discapacidad si no incorpora diseño accesible. En consecuencia, la gobernanza ética debe tratar privacidad, seguridad, desempeño y equidad como objetivos simultáneos y medibles, no como atributos independientes.

### 4.6. Agenda de investigación orientada a impacto

Para cerrar la brecha entre demostración técnica y salud inclusiva, las futuras investigaciones deberían diseñarse considerando variables de resultado en cuatro dimensiones complementarias:

- Técnica: latencia end-to-end, energía total, memoria pico, disponibilidad sin red, bytes transmitidos y tasa de recuperación.
- Clínica: sensibilidad, especificidad, calibración, tiempo hasta intervención, carga de falsas alarmas y seguridad por uso previsto.
- Equidad y experiencia: desempeño por subgrupo, accesibilidad, tasa de uso, abandono, comprensión de alertas y tiempo de atención en población objetivo.
- Económica y ambiental: costo total de propiedad, costo por caso útil, mantenimiento, vida de batería, reparabilidad y fin de vida.

Un ensayo o piloto que reporte únicamente exactitud y latencia no puede responder RQ6. Del mismo modo, un estudio de equidad sin instrumentación de calidad de servicio y disponibilidad no puede atribuir mejoras a la arquitectura Edge AI. La investigación más valiosa será aquella que conecte las cuatro capas y compare Edge AI con alternativas realistas: cloud-only, reglas simples, store-and-forward sin IA o atención habitual.

### 4.7. Limitaciones de la revisión

Esta revisión presenta limitaciones que condicionan la fuerza de sus conclusiones. Primero, 119 de los 248 informes buscados a texto completo no pudieron recuperarse por tratarse de publicaciones de acceso cerrado sin copia abierta localizable. El corpus evaluado (129 informes) podría no representar al conjunto de la literatura elegible, y los estudios no recuperados permanecen sin evaluar en la bitácora de recuperación.

Segundo, la evaluación de la calidad estuvo limitada por la documentación insuficiente de los estudios primarios: la mayoría de los juicios “incierto” en QUADAS-2 (10 estudios), PROBAST (5 estudios) y la lista de verificación técnica (71 estudios) reflejan información insuficiente en la extracción, no necesariamente defectos confirmados. En particular, la reproducibilidad fue incierta en los 71 estudios de validez técnica porque la disponibilidad de código y datos no se capturó sistemáticamente; esta es una limitación de la extracción que debe corregirse en actualizaciones futuras.

Tercero, se aplicó AMSTAR 2 (Shea et al., 2017) a las 5 revisiones sistemáticas del corpus secundario. Solo una pudo evaluarse con texto completo —la revisión sobre wearables de EEG intraauricular— y obtuvo confianza críticamente baja por cuatro defectos críticos: ausencia de protocolo previo, de lista de estudios excluidos, de evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos y de consideración del sesgo en la interpretación. Las cuatro revisiones restantes no pudieron recuperarse a texto completo; por ello, sus ítems se consideran no evaluables y no se les asigna una categoría global de confianza. Esta limitación reduce la capacidad de usar el corpus

secundario como evidencia de alta certeza, razón por la que las revisiones se emplean únicamente para triangulación y contextualización.

Cuarto, la búsqueda se ejecutó en dos bases de datos (PubMed y OpenAlex). El intento de consulta a IEEE Xplore no devolvió resultados auditables y la fuente se excluyó con declaración explícita; la literatura gris y regional puede estar subrepresentada, y solo se aceptaron publicaciones en inglés o español. La discrepancia de un registro entre el estimador de OpenAlex (734) y la exportación por cursor (735) se declara sin atribuirle causa no verificada.

Quinto, nueve estudios inicialmente candidatos fueron reclasificados como evidencia contextual tras una readjudicación estricta del criterio de ejecución demostrada en el borde (simulación o procesador sustituto). La decisión está documentada por estudio, pero el límite entre prototipo de laboratorio y simulación conserva un componente de juicio que debe interpretarse con cautela.

Sexto, la heterogeneidad de tareas, señales, plataformas, diseños de validación y fronteras de medición impide un metanálisis global y obliga a una síntesis narrativa; las cifras de estudios individuales son resultados condicionados a su protocolo. Las escalas TRL y NMV son herramientas analíticas de esta revisión y no equivalen a aprobación regulatoria ni a evidencia de eficacia clínica. Finalmente, los datos de 2026 son parciales (corte el 9 de septiembre) y la rápida evolución de hardware y runtimes hace que las cifras de memoria o energía envejezcan antes que los principios arquitectónicos.

## 5. Conclusiones

### 5.1. Aportes originales y conclusiones integradas

El primer aporte del capítulo es haber reconstruido y documentado de forma íntegra y trazable el proceso de revisión: se identificaron 1 031 registros/identificadores en PubMed y OpenAlex; un identificador de PubMed no pudo exportarse, por lo que quedaron 1 030 registros auditables antes de la deduplicación; 879 registros fueron cribados, 129 informes primarios se evaluaron a texto completo y el corpus final comprende 86 estudios primarios con ejecución demostrada de IA en el borde, además de 29 revisiones como evidencia secundaria. La revisión establece también una separación explícita entre resiliencia técnica, madurez tecnológica y evidencia clínica.

Edge AI puede conservar adquisición, filtrado, inferencia y alerta cuando la WAN se degrada, y técnicas como cuantificación, poda y destilación hacen viable el despliegue en hardware restringido —28 estudios reportan microcontroladores—. Sin embargo, la evaluación metodológica muestra que la factibilidad de despliegue no equivale a efectividad clínica: predominan prototipos experimentales (n = 40) y validaciones técnicas (n = 31), la documentación sobre reproducibilidad es insuficiente y son escasos los estudios prospectivos, multicéntricos o posdespliegue.

El segundo aporte consiste en conceptualizar Edge AI como un problema de distribución funcional del cómputo y no como una oposición binaria entre borde y nube. En redes con capacidad

limitada, la inferencia local permite transformar flujos continuos de bioseñales en telemetría selectiva, reducir la dependencia de intercambios de ida y vuelta con servicios remotos y mantener funciones previamente definidas durante periodos de conectividad degradada o ausente. La nube conserva un papel relevante en el entrenamiento, la coordinación, la gestión del ciclo de vida y el análisis longitudinal. El modelo de referencia funcional propuesto (Figura 2) sintetiza esta relación mediante cuatro modos operativos —conectado, degradado, desconectado y recuperación— y establece mecanismos de degradación funcional controlada, persistencia con integridad, priorización de comunicaciones y reconciliación interoperable.

El tercer aporte consiste en incorporar al mismo modelo de referencia funcional requisitos transversales de ciberseguridad, interoperabilidad, privacidad, sostenibilidad, accesibilidad y evaluación de equidad. Mantener determinados datos localmente puede reducir su exposición durante la transmisión, pero incrementa la relevancia de la seguridad del hardware y del firmware, la gestión de claves, las actualizaciones y el acceso físico. IEEE 11073 SDC y HL7 FHIR pueden contribuir a articular el flujo dispositivo–pasarela–historia clínica electrónica, pero no sustituyen la validación semántica, técnica ni clínica. En este marco, Edge AI debe entenderse como un habilitador potencial de resiliencia técnica y de inclusión, no como una tecnología intrínsecamente equitativa; todavía se requiere evidencia longitudinal que demuestre mejoras sostenidas de acceso, resultados, costo-efectividad y reducción de disparidades en poblaciones rurales y desatendidas.

## 5.2. Recomendaciones para actores clave

Para investigadores, se recomienda diseñar estudios que reporten simultáneamente rendimiento clínico y técnico, proporcionen información suficiente para determinar la madurez tecnológica (TRL) y la madurez de validación (NMV) mediante criterios explícitos, incluyan validación externa y prospectiva, comparadores realistas y métricas de energía de extremo a extremo, conectividad, seguridad, accesibilidad y subgrupos. También deberían publicarse artefactos de reproducibilidad —configuración de hardware, versiones, protocolos de medición y perfiles de interoperabilidad— sin comprometer información sensible.

Para responsables de políticas públicas, la prioridad es evitar que las estrategias de salud digital dependan de una conectividad ideal. Los programas deberían exigir interoperabilidad, protección de datos, ciberseguridad por ciclo de vida, evaluación de TCO, accesibilidad y planes de mantenimiento; financiar pilotos en regiones con brechas reales; y definir mecanismos de evaluación que midan acceso, tiempo hasta la atención, continuidad del servicio y equidad, además de la exactitud. Para organizaciones sanitarias, se recomienda seleccionar Edge AI a partir del flujo clínico y del riesgo, establecer gobernanza de modelos y datos, un inventario de dispositivos, actualización segura, procedimientos de operación offline, supervisión humana y criterios de escalamiento o retiro del sistema.

## 5.3. Trabajos futuros

La prioridad de validación clínica es avanzar desde NMV1–NMV2 hacia estudios prospectivos y multicéntricos que evalúen desempeño en la población objetivo, robustez ante cambios de sensor

y deriva, calibración, carga de falsas alarmas, tiempo hasta la intervención y eventos de seguridad. Los estudios deberían comparar Edge AI con alternativas pertinentes —cloud-only, reglas simples, store-and-forward sin IA y atención habitual— para estimar el valor incremental de la inteligencia local.

En interoperabilidad, los trabajos futuros deben validar flujos de extremo a extremo desde el sensor hasta la historia clínica electrónica (electronic health record, EHR), incluyendo pruebas de integración, mapeos semánticos, proveniencia, identificación, perfiles FHIR, especificaciones IEEE 11073, sincronización después de periodos sin conexión y consistencia de versiones. Una línea especialmente relevante es comprobar cómo los sistemas preservan significado clínico y trazabilidad cuando operan durante horas o días sin conectividad y luego reconcilian eventos locales con registros institucionales.

Finalmente, la evaluación del impacto social debe superar indicadores de factibilidad. Se requieren estudios longitudinales que midan adopción, accesibilidad, costos para pacientes y organizaciones, continuidad de atención, desempeño por subgrupo, alfabetización digital, carga para el personal, mantenimiento, residuos electrónicos y efectos distributivos. Solo la convergencia de validación clínica, interoperabilidad verificable y evidencia social permitirá determinar cuándo Edge AI mejora realmente la salud digital en entornos con conectividad limitada.

## Referencias bibliográficas

Los 86 estudios incluidos en la revisión se listan en el Apéndice C.

Armas Cárdenas, J. C., Lucio Vásquez, E. M., Puetate Huera, G. H., & Grijalva Maigua, C. N. (2026). La brecha digital, impacto en la implementación de telemedicina en los Hospitales Generales de Imbabura. Metanoia: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación, 12(1), 413–428. https://doi.org/10.61154/metanoia.v12i1.4226

Asamblea Nacional del Ecuador. (2021). Ley Orgánica de Protección de Datos Personales. Registro Oficial, Quinto Suplemento No. 459. https://www.registroficial.gob.ec/quinto-suplemento-al-registro-oficial-no-459/

Hizem, M., Bousbia, L., Ben Dhiab, Y., Aoueileyine, M. O.-E., & Bouallegue, R. (2025). Reliable ECG anomaly detection on edge devices for Internet of Medical Things applications. Sensors, 25(8), 2496. https://doi.org/10.3390/s25082496

HL7 International. (2023). FHIR Release 5 (v5.0.0). https://hl7.org/fhir/R5/

Ibrar, K., Fusco, P., Rimoli, G. P., Palmieri, F., & Ficco, M. (2026). Cross-modal federated TinyML for MCU-based Internet of Medical Things. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. Advance online publication. https://doi.org/10.1109/JBHI.2026.3679191

Institute of Electrical and Electronics Engineers & International Organization for Standardization. (2024). ISO/IEEE International Standard: Health informatics—Device interoperability—Part 10700: Point-of-care medical device communication—Standard for base requirements for participants in a Service-oriented Device Connectivity (SDC) system (IEEE/ISO 11073-10700-2024). https://standards.ieee.org/ieee/11073-10700/11716/

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). Tecnologías de la Información y Comunicación—TIC 2025: Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU).

International Telecommunication Union & United Nations Institute for Training and Research. (2024). The Global E-waste Monitor 2024. https://www.itu.int/pub/D-GEN-E_WASTE.01-2024

Keivanimehr, A. R., & Akbari, M. (2025). TinyML and edge intelligence applications in cardiovascular disease: A survey. Computers in Biology and Medicine, 186, 109653. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2025.109653

Li, H., Ninan, M., Wang, B., & Emmert, J. M. (2024). TinyPower: Side-channel attacks with tiny neural networks. In 2024 IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST) (pp. 320–331). IEEE. https://doi.org/10.1109/HOST55342.2024.10545382

Li, M., Xu, P., Hu, J., Tang, Z., & Yang, G. (2025). From challenges and pitfalls to recommendations and opportunities: Implementing federated learning in healthcare. Medical Image Analysis, 101, 103497. https://doi.org/10.1016/j.media.2025.103497

LoRa Alliance. (2025, October 8). RP002-1.0.5 LoRaWAN regional parameters. https://resources.lora-alliance.org/document/rp002-1-0-5-lorawan-regional-parameters

Messinis, S., Temenos, N., Protonotarios, N. E., Rallis, I., Kalogeras, D., & Doulamis, N. (2024). Enhancing Internet of Medical Things security with artificial intelligence: A comprehensive review. Computers in Biology and Medicine, 170, 108036. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108036

Mohammadi, M., Vejdanihemmat, M., Lotfinia, M., Rusu, M., Truhn, D., Maier, A., & Arasteh, S. T. (2026). Differential privacy for medical deep learning: Methods, tradeoffs, and deployment implications. npj Digital Medicine, 9, 93. https://doi.org/10.1038/s41746-025-02280-z

Naghib, A., Gharehchopogh, F. S., & Zamanifar, A. (2025). A comprehensive and systematic literature review on intrusion detection systems in the Internet of Medical Things: Current status, challenges, and opportunities. Artificial Intelligence Review, 58, 114. https://doi.org/10.1007/s10462-024-11101-w

National Aeronautics and Space Administration. (2023, September 27). Technology readiness levels. https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/

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., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pazmiño-Ortiz, L., Cuenca-Sánchez, A., & Loarte-Cajamarca, B. (2026). Distributed intelligence in the Artificial Intelligence of Things: A review of artificial intelligence workload placement across the device-edge-fog-cloud continuum. Future Internet, 18(6), 296. https://doi.org/10.3390/fi18060296

Pereira, C. V. F., de Oliveira, E. M., & de Souza, A. D. (2024). Machine learning applied to edge computing and wearable devices for healthcare: Systematic mapping of the literature. Sensors, 24(19), 6322. https://doi.org/10.3390/s24196322

Presidencia de la República del Ecuador. (2023). Reglamento General de la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (Decreto Ejecutivo No. 904). Registro Oficial, Tercer Suplemento No. 435. https://www.registroficial.gob.ec/tercer-suplemento-al-registro-oficial-no-435/

Rethlefsen, M. L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A. P., Moher, D., Page, M. J., & Koffel, J. B. (2021). PRISMA-S: An extension to the PRISMA Statement for reporting literature searches in systematic reviews. Systematic Reviews, 10, 39. https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z

Rocha, A., Monteiro, M., Mattos, C., Dias, M., Soares, J., Magalhães, R., & de Macêdo, J. A. F. (2024). Edge AI for Internet of Medical Things: A literature review. Computers & Electrical Engineering, 116, 109202. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109202

Shammar, E., Cui, X., Zahary, A., Alsamhi, S. H., & Al-qaness, M. A. A. (2025). Threat to trust: A systematic review on Internet of Medical Things security. Journal of Parallel and Distributed Computing, 206, 105172. https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2025.105172

Shea, B. J., Reeves, B. C., Wells, G., Thouless, M., Hamel, C., Moran, J., Moher, D., Tugwell, P., Welch, V., Kristjansson, E., & Henry, D. A. (2017). AMSTAR 2: A critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. BMJ, 358, j4008. https://doi.org/10.1136/bmj.j4008

Suryanarayanan, K., & Gajula, R. (2026). Memory-efficient CNN autoencoder for real-time ECG anomaly detection on TinyML-enabled edge devices. Future Internet, 18(6), 286. https://doi.org/10.3390/fi18060286

Turan, M. S., McKay, K., Kang, J., Kelsey, J., & Chang, D. (2025). Ascon-based lightweight cryptography standards for constrained devices: Authenticated encryption, hash, and extendable output functions (NIST Special Publication 800-232). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-232

U.S. Food and Drug Administration. (2025). Good machine learning practice for medical device development: Guiding principles. https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/good-machine-learning-practice-medical-device-development-guiding-principles

U.S. Food and Drug Administration. (2026, February). Cybersecurity in medical devices: Quality management system considerations and content of premarket submissions: Guidance for industry and Food and Drug Administration staff. https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/cybersecurity-medical-devices-quality-management-system-considerations-and-content-premarket

Wakili, A., & Bakkali, S. (2026). RuralEdgeHealth: A sustainable offline mobile edge AI reference architecture for intelligent IoT sensor classification in resource-constrained environments. Array, 30, 100912. https://doi.org/10.1016/j.array.2026.100912

Whiting, P. F., Rutjes, A. W. S., Westwood, M. E., Mallett, S., Deeks, J. J., Reitsma, J. B., Leeflang, M. M. G., Sterne, J. A. C., Bossuyt, P. M. M., & QUADAS-2 Group. (2011). QUADAS-2: A revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies. Annals of Internal Medicine, 155(8), 529–536. https://doi.org/10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00009

Wolff, R. F., Moons, K. G. M., Riley, R. D., Whiting, P. F., Westwood, M., Collins, G. S., Reitsma, J. B., Kleijnen, J., Mallett, S., & PROBAST Group. (2019). PROBAST: A tool to assess the risk of bias and applicability of prediction model studies. Annals of Internal Medicine, 170(1), 51–58. https://doi.org/10.7326/M18-1376

World Health Organization & International Telecommunication Union. (2024). Implementation toolkit for accessible telehealth services. https://www.who.int/publications/i/item/9789240094161

World Health Organization. (2023). Regulatory considerations on artificial intelligence for health. https://www.who.int/publications/i/item/9789240078871

Yahyati, C., Lamaakal, I., Maleh, Y., El Makkaoui, K., Ouahbi, I., Almousa, M., & Abd El-Latif, A. A. (2025). A systematic review of state-of-the-art TinyML applications in healthcare, education, and transportation. IEEE Access, 13, 204513–204562. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3633575

Zambrano-de la Torre, M., Guzman-Alfaro, S., Acuña-Correa, A., Soto-Murillo, M. A., Guzmán-Fernández, M., Robles-Ortiz, R., Villagrana-Bañuelos, K. E., Arceo-Olague, J. G., Espino-Salinas, C. H., Sánchez-Reyna, A. G., & Cuevas-Rodriguez, E. O. (2026). Real-time cardiac arrhythmia classification using TinyML on ultra-low-cost microcontrollers: A feasibility study for resource-constrained environments. Bioengineering, 13(5), 532. https://doi.org/10.3390/bioengineering13050532

Zeynali, M., Alipour, K., Tarvirdizadeh, B., & Ghamari, M. (2025). Non-invasive blood glucose monitoring using PPG signals with various deep learning models and implementation using TinyML. Scientific Reports, 15, 581. https://doi.org/10.1038/s41598-024-84265-8

# Apéndice A

## Estrategia de búsqueda ejecutada (9 de septiembre de 2026)

La búsqueda se ejecutó el 9 de septiembre de 2026. La Tabla A1 resume la estrategia por base de datos; los archivos de consulta, exportación y bitácora se conservan en los materiales de auditoría del capítulo.

**Tabla A1**

*Estrategia de búsqueda ejecutada por base de datos*

| Base de datos | Estrategia | Fecha | Registros |
|---|---|---|---|
| PubMed / MEDLINE (interfaz web + E-utilities) | Ecuación núcleo (bloque tecnología AND bloque salud) con filtros: fecha de publicación 2020-01-01 a 2026-09-09; idioma inglés o español | 2026-09-09 | 296 identificadores; 295 registros parseados (PMID 38564569 no recuperado) |
| OpenAlex | Búsqueda equivalente por título y resumen con los mismos bloques conceptuales; filtros de fecha, idioma y tipo de documento | 2026-09-09 | 735 registros exportados (estimador de interfaz: 734) |
| IEEE Xplore | Consulta programática | 2026-09-09 | Sin resultados auditables; fuente excluida con declaración explícita |

*Nota.* Elaboración propia con base en PRISMA-S (Rethlefsen et al., 2021).

Ecuación núcleo en PubMed (texto decodificado): (“edge artificial intelligence” OR “edge AI” OR “edge intelligence” OR “on-device AI” OR “embedded machine learning” OR TinyML OR “distributed intelligence”) AND (healthcare OR medical OR biomedical OR “digital health” OR wearable OR “Internet of Medical Things” OR IoMT OR telemedicine OR “remote patient monitoring”). Bloques conceptuales: tecnología (Edge AI, on-device AI, embedded ML, TinyML, distributed intelligence); salud (healthcare, medical, biomedical, digital health, wearable, IoMT, telemedicina, remote patient monitoring). La deduplicación entre fuentes se realizó por DOI exacto (n = 140 duplicados). Antes del cribado se eliminaron automatizadamente 11 registros por tipo de publicación manifiestamente no elegible.

# Apéndice B

## Códigos de exclusión, ficha de extracción y evaluación

Códigos operativos de exclusión aplicados, con conteos por fase:

**Tabla B1**

*Códigos de exclusión y conteos*

| Código | Motivo | Cribado (n = 577) | Texto completo (n = 43) |
|---|---|---|---|
| E1 | Dominio no sanitario | 101 | 4 |
| E2 | No es IA en el borde aplicada a la salud | 173 | — |
| E3 | IA en salud sin ejecución demostrada en el borde (incluye simulación/sustitutos) | 192 | 27 * |
| E4 | Uso no técnico de "cutting-edge AI" | 33 | — |
| E5 | Tipo de publicación no elegible | 37 (+ 11 automatizados pre-cribado) | — |
| E6 | Duplicado (DOI entre fuentes / título exacto) | 41 (+ 140 DOI pre-cribado) | — |
| E7 | Conceptual sin evaluación empírica | — | 10 |
| E8 | Revisión mal clasificada | — | 2 |

*Nota.* * Incluye 9 estudios reclasificados tras readjudicación estricta (simulación en OMNeT++/Cooja/datos sintéticos o procesador sustituto). Un duplicado adicional se detectó dentro del conjunto de revisiones secundarias (total 42 duplicados por título). Elaboración propia.

La ficha de extracción registró: objetivo clínico y uso previsto; población y procedencia de datos; modalidad de señal; arquitectura y ubicación de la inferencia; hardware y entorno de ejecución; tamaño del modelo, memoria pico y precisión numérica; latencia de inferencia; consumo o energía por inferencia y frontera de medición; protocolo de comunicación y volumen transmitido; comportamiento ante desconexión; mecanismos de ciberseguridad; interoperabilidad; diseño de validación; comparador; métricas clínicas; costo reportado; accesibilidad; y resultados de equidad.

Evaluación de calidad de los estudios primarios: QUADAS-2 para 10 estudios de precisión diagnóstica (selección de pacientes, prueba índice, estándar de referencia, flujo y tiempos); PROBAST para 5 modelos de predicción (participantes, predictores, desenlace y análisis); y lista estructurada de validez técnica para 71 prototipos/validaciones (descripción de muestra/datos, comparación con línea base, medición en el dispositivo, documentación de recursos, reproducibilidad y discusión de limitaciones). No se calcularon puntajes agregados; los juicios se conservaron por dominio o ítem con su justificación. La lista técnica se interpreta como evaluación de calidad/validez de ingeniería, no como herramienta clínica validada de riesgo de sesgo.

Las 5 revisiones sistemáticas del corpus secundario se consideraron con AMSTAR 2 (16 ítems; Shea et al., 2017). Una revisión fue evaluable con texto completo y obtuvo confianza críticamente baja; las cuatro restantes se registraron como no evaluables por falta de recuperación del texto completo y no recibieron una categoría global de confianza. Los juicios disponibles por ítem se conservan en los archivos de auditoría (amstar2_reviews.csv/json).

Escalas de madurez: TRL 1–9 adaptado a Edge AI sanitario (1–2 concepto; 3 prueba de concepto; 4 prototipo en laboratorio; 5 validación en entorno relevante; 6 demostración de prototipo funcional; 7 demostración en entorno operativo; 8 sistema cualificado; 9 operación sostenida) y NMV 1–5 (1 retrospectivo/benchmark; 2 validación independiente o externa; 3 prospectivo/piloto; 4 clínico prospectivo comparativo o multicéntrico; 5 implementación longitudinal). Ambas son herramientas analíticas de esta revisión.

# Apéndice C

## Estudios primarios incluidos (n = 86)

Referencias bibliográficas de los estudios del corpus primario, generadas a partir de los metadatos disponibles en OpenAlex y los DOI registrados. La lista se ordena alfabéticamente. Los campos bibliográficos se conservan conforme al registro de auditoría; los casos con metadatos incompletos requieren verificación bibliográfica antes de una normalización estricta a APA 7.ª edición.

Abdullah, Fatima, Z., Oropeza Rodríguez, J. L., & Sosa, O. E. (2026). EvoApneaFormer: an IoT and prognostic evolutionary deep learning-based framework for real-time multi-event sleep apnea disorder detection and remote monitoring. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 14. https://doi.org/10.3389/fbioe.2026.1755071

Alcaraz-Ortiz, D., Zapata-Pérez, J. F., & Martinez-Alajarin, J. (2026). Cloud-to-edge deployment of optimized nnU-Net for ischemic stroke lesion segmentation on resource-constrained embedded devices. *Sensors*, 26(11), 3322. https://doi.org/10.3390/s26113322

Ali, A., Montanaro, T., Sergi, I., Carrisi, S., Galli, D., Distante, C., & Patrono, L. (2025). An innovative IoT and edge intelligence framework for monitoring elderly people using anomaly detection on data from non-wearable sensors. *Sensors*, 25(6), 1735. https://doi.org/10.3390/s25061735

Alshehri, B., Aljhani, N., Albalawi, A., Abdulghani, W., Alfawzan, T., & Alkhodair, A. J. (2026). Edge-AI enabled wearables for construction safety: Real-time physiological monitoring and localised data processing. *Future Internet*, 18(6), 293. https://doi.org/10.3390/fi18060293

An, X., Shi, S., Wang, Q., Yu, Y., & Liu, Q. (2024). Research on a lightweight arrhythmia classification model based on knowledge distillation for wearable single-lead ECG monitoring systems. *Sensors*, 24(24), 7896. https://doi.org/10.3390/s24247896

Andò, B., Baglio, S., Manenti, M., Finocchiaro, V., Marletta, V., Rajan, S., Nehary, E. A., Dibilio, V., Zappia, M., & Mostile, G. (2025). Investigating performance of an embedded machine learning solution for classifying postural behaviors. *Sensors*, 25(14), 4262. https://doi.org/10.3390/s25144262

Arthi, R., & Krishnaveni, S. (2024). Optimized tiny machine learning and explainable AI for trustable and energy-efficient fog-enabled healthcare decision support system. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17(1). https://doi.org/10.1007/s44196-024-00631-4

Balaban, B. M., Sacala, I., & Petrescu-Nita, A. C. (2025). A federated cyber-physical platform for real-time coordination of emergency medical service via 112 integrations. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 27(3). https://doi.org/10.61416/ceai.v27i3.9635

Bappy, A. S., Seppänen, T., & Hoque, M. Z. (2026). SENSEYE: a resource-aware visionary framework for assisting individuals with visual disabilities. *Scientific Reports*, 16(1). https://doi.org/10.1038/s41598-026-51257-9

Brennan, D., & Galvin, P. (2024). Evaluation of a machine learning algorithm to classify ultrasonic transducer misalignment and deployment using TinyML. *Sensors*, 24(2), 560. https://doi.org/10.3390/s24020560

Cinotti, E., Gragnaniello, M., Parlato, S., Centracchio, J., Andreozzi, E., Bifulco, P., Riccio, M., & Esposito, D. (2025). An edge AI approach for low-power, real-time atrial fibrillation detection on wearable devices based on heartbeat intervals. *Sensors*, 25(23), 7244. https://doi.org/10.3390/s25237244

D, S., S, V., Ramesh Yankanchi, S., & Manasa, S. (2025). Edge computing and blockchain-based data security in IoMT. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 21(06), 124–140. https://doi.org/10.3991/ijoe.v21i06.54403

Dong, F., Han, C., Xu, P., Chhatwal, J., Jiang, X., Wang, T., Hsu, A., Baek, M., Wu, D., Li, R., Jiang, Y., Tian, B., Fang, J. Y., & Niu, S. (2026). A biomimetic, ultralow-power edge-AI-empowered and self-sustaining gait analysis system. *Science Advances*, 12(34). https://doi.org/10.1126/sciadv.aeh9625

Dr. G. Sophia Reena (2023). Posture guardian with smart muscle strain detection and correction using TinyML. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, 44(4), 5187–5194. https://doi.org/10.52783/tjjpt.v44.i4.1873

El Mrabet, A., Tber, A., Benaly, M., Hlou, L., & El Gouri, R. (2023). Unlocking doors: A TinyML-based approach for real-time face mask detection in door lock systems. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEEI)*, 11(2). https://doi.org/10.52549/ijeei.v11i2.4756

Frey, S., Spacone, G., Cossettini, A., Guermandi, M., Schilk, P., Benini, L., & Kartsch, V. (2026). BioGAP-Ultra: A modular edge-AI platform for wearable multimodal biosignal acquisition and processing. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 20(3), 399–415. https://doi.org/10.1109/tbcas.2026.3652501

Ghosh, S., Bhuvanakantham, R., Sindhujaa, P., Harishita, P. B., Mohan, A., Gulyás, B., Máthé, D., & Padmanabhan, P. (2026). A cloud-aware scalable architecture for distributed edge-enabled BCI biosensor system. *Biosensors*, 16(3), 157. https://doi.org/10.3390/bios16030157

Ghosh, S., Sindhujaa, P., Senthil Kumar, P., Mohan, A., Mahalakshmi, P., Gulyás, B., Máthé, D., & Padmanabhan, P. (2026). Hybrid edge–cloud asymmetric analytics for portable multimodal BCI biosensors. *Biosensors*, 16(7), 394. https://doi.org/10.3390/bios16070394

Giordano, M., Dheman, K., & Magno, M. (2025). SepAl: Sepsis alerts on low-power wearables with digital biomarkers and on-device tiny machine learning. *IEEE Sensors Journal*, 25(5), 7858–7866. https://doi.org/10.1109/jsen.2024.3424655

Gomes, R. G., Vwalika, B., Lee, C., Willis, A., Sieniek, M., Price, J. T., Chen, C., Kasaro, M. P., Taylor, J. A., Stringer, E. M., McKinney, S. M., Sindano, N., Dahl, G. E., Goodnight, W., Gilmer, J., Chi, B. H., Lau, C., Spitz, T., Saensuksopa, T., . . . Shetty, S. (2022). A mobile-optimized artificial intelligence system for gestational age and fetal malpresentation assessment. *Communications Medicine*, 2(1). https://doi.org/10.1038/s43856-022-00194-5

Gong, E. J., & Bang, C. S. (2025). Edge artificial intelligence device in real-time endoscopy for the classification of colonic neoplasms. *Diagnostics*, 15(12), 1478. https://doi.org/10.3390/diagnostics15121478

Gong, E. J., Bang, C. S., & Lee, J. J. (2024). Edge artificial intelligence device in real-time endoscopy for classification of gastric neoplasms: Development and validation study. *Biomimetics*, 9(12), 783. https://doi.org/10.3390/biomimetics9120783

Gragnaniello, M., Borghese, A., Marrazzo, V. R., Maresca, L., Breglio, G., Irace, A., & Riccio, M. (2024). Real-time myocardial infarction detection approaches with a microcontroller-based edge-AI device. *Sensors*, 24(3), 828. https://doi.org/10.3390/s24030828

Gragnaniello, M., Marrazzo, V. R., Borghese, A., Maresca, L., Breglio, G., & Riccio, M. (2024). Edge-AI enabled wearable device for non-invasive type 1 diabetes detection using ECG signals. *Bioengineering*, 12(1), 4. https://doi.org/10.3390/bioengineering12010004

Gudiño-Ochoa, A., García-Rodríguez, J. A., Cuevas-Chávez, J. I., Ochoa-Ornelas, R., Navarrete-Guzmán, A., Vidrios-Serrano, C., & Sánchez-Arias, D. A. (2024). Enhanced diabetes detection and blood glucose prediction using TinyML-integrated e-nose and breath analysis: A novel approach combining synthetic and real-world data. *Bioengineering*, 11(11), 1065. https://doi.org/10.3390/bioengineering11111065

Gudiño-Ochoa, A., García-Rodríguez, J. A., Ochoa-Ornelas, R., Cuevas-Chávez, J. I., & Sánchez-Arias, D. A. (2024). Noninvasive diabetes detection through human breath using TinyML-powered e-nose. *Sensors*, 24(4), 1294. https://doi.org/10.3390/s24041294

He, N., Yang, L., Hu, X., & He, Y. (2026). Locally-deployed vs. cloud-based AI in healthcare: evaluating DeepSeek-R1:8b, DeepSeek-R1, and ChatGPT o3-mini-high for complex medical diagnostics. *Frontiers in Digital Health*, 8. https://doi.org/10.3389/fdgth.2026.1785443

Heo, S., Choi, T., & Choi, W. (2026). Clinical validation of an on-device AI-driven real-time human pose estimation and exercise prescription program: Prospective single-arm quasi-experimental study. *Healthcare*, 14(4), 482. https://doi.org/10.3390/healthcare14040482

Hizem, M., Aoueileyine, M. O. E., Belhaouari, S. B., EL Omri, A., & Bouallegue, R. (2025). Sustainable e-health: Energy-efficient tiny AI for epileptic seizure detection via EEG. *Biomedical Engineering and Computational Biology*, 16. https://doi.org/10.1177/11795972241283101

Hizem, M., Bousbia, L., Ben Dhiab, Y., Aoueileyine, M. O. E., & Bouallegue, R. (2025). Reliable ECG anomaly detection on edge devices for Internet of Medical Things applications. *Sensors*, 25(8), 2496. https://doi.org/10.3390/s25082496

Horesh, Y., Oz Rokach, R., Kolben, Y., & Nachman, D. (2025). Real-time monitoring of personal protective equipment adherence using on-device artificial intelligence models. *Sensors*, 25(7), 2003. https://doi.org/10.3390/s25072003

Huang, K. Y., Hsu, Y. L., Chung, C. L., Chen, H. C., Horng, M. H., Lin, C. H., Liu, C. S., & Xu, J. L. (2025). Enhancing healthcare AI stability with edge computing and machine learning for extubation prediction. *Scientific Reports*, 15(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-02317-z

Huang, Z., Herbozo Contreras, L. F., Leung, W. H., Yu, L., Truong, N. D., Nikpour, A., & Kavehei, O. (2024). Efficient edge-AI models for robust ECG abnormality detection on resource-constrained hardware. *Journal of Cardiovascular Translational Research*, 17(4), 879–892. https://doi.org/10.1007/s12265-024-10504-y

Huang, Z., Yu, L., Herbozo Contreras, L. F., & Kavehei, O. (2025). Efficient and secure µ-Training and µ-Fine-Tuning for edge-based TinyML with future-guided self-distillation. Machine Learning: Health, 1(1), 015002. https://doi.org/10.1088/3049-477x/add26a

Ibrar, K., Fusco, P., Rimoli, G. P., Palmieri, F., & Ficco, M. (2026). Cross-modal federated TinyML for MCU-based Internet of Medical Things. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. https://doi.org/10.1109/jbhi.2026.3679191

Johnvictor, A. C., Poonkodi, M., Prem Sankar, N., & VS, T. (2024). TinyML-based lightweight AI healthcare mobile chatbot deployment. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 17, 5091–5104. https://doi.org/10.2147/jmdh.s483247

Jun, M. (2025). Platform framework for blockchain-enhanced healthcare AIoT systems. *Frontiers in Communications and Networks*, 6. https://doi.org/10.3389/frcmn.2025.1538965

Karpagam, P., Karthikeyan, M., Kalpana, G., & Suresh, A. (2026). Edge-AI enabled secure IoT framework for real-time patient monitoring and anomaly detection in smart healthcare systems. *Scientific Reports*, 16(1). https://doi.org/10.1038/s41598-026-59602-8

Kartali, A., Koshtrevska, M., Jokić, S., Gligorić, N., & Machidon, O. M. (2026). Privacy-preserving adaptive arrhythmia monitoring with wearable ECG, smartphone PPG, and federated on-device learning. *Frontiers in Digital Health*, 8. https://doi.org/10.3389/fdgth.2026.1900115

Kasper, K. A., Thien, R., Stuart, T., Kim, J., Bhatia, A., & Gutruf, P. (2025). Wearable AI for on-device frailty assessment. *Nature Communications*, 17(1). https://doi.org/10.1038/s41467-025-67728-y

Khalid, M. I., Hussain, A., Hussain, N., & Alkhalifah, T. (2026). Lightweight and interpretable edge intelligence AI with intrusion detection for trustworthy cardiac arrhythmia in medical IoT. *Scientific Reports*, 16(1). https://doi.org/10.1038/s41598-026-43578-6

Kwon, S., Kim, H. S., Kwon, K., Kim, H., Kim, Y. S., Lee, S. H., Kwon, Y. T., Jeong, J. W., Trotti, L. M., Duarte, A., & Yeo, W. H. (2023). At-home wireless sleep monitoring patches for the clinical assessment of sleep quality and sleep apnea. *Science Advances*, 9(21). https://doi.org/10.1126/sciadv.adg9671

Lee, C., Yuh, A. H., & Kang, S. J. (2024). Real-time prediction of resident ADL using edge-based time-series ambient sound recognition. *Sensors*, 24(19), 6435. https://doi.org/10.3390/s24196435

Lee, S. H., Kim, Y. S., Yeo, M. K., Mahmood, M., Zavanelli, N., Chung, C., Heo, J. Y., Kim, Y., Jung, S. S., & Yeo, W. H. (2022). Fully portable continuous real-time auscultation with a soft wearable stethoscope designed for automated disease diagnosis. *Science Advances*, 8(21). https://doi.org/10.1126/sciadv.abo5867

Leogrande, E., Luca, E. D., & Dell'Olio, F. (2026). From PPG to blood pressure at the edge: Quantization-aware architecture selection and on-MCU validation. *Sensors*, 26(9), 2674. https://doi.org/10.3390/s26092674

Lewandowski, M., Płaczek, B., & Bernas, M. (2020). Classifier-based data transmission reduction in wearable sensor network for human activity monitoring. *Sensors*, 21(1), 85. https://doi.org/10.3390/s21010085

Lim, W. J., & Abdul Ghani, N. M. (2022). COVID-19 Mandatory self-quarantine wearable device for authority monitoring with edge AI reporting & flagging system. Health and Technology, 12(1), 215–226. https://doi.org/10.1007/s12553-021-00631-w

Lin, L., Dacal, E., Díez, N., Carmona, C., Martin Ramirez, A., Barón Argos, L., Bermejo-Peláez, D., Caballero, C., Cuadrado, D., Darias-Plasencia, O., García-Villena, J., Bakardjiev, A., Postigo, M., Recalde-Jaramillo, E., Flores-Chavez, M., Santos, A., Ledesma-Carbayo, M. J., Rubio, J. M., & Luengo-Oroz, M. (2024). Edge Artificial Intelligence (AI) for real-time automatic quantification of filariasis in mobile microscopy. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 18(4), e0012117. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012117

Mathan.S, M., & Gupta, S. (2026). An edge AI enabled IoT cardiac decision support system using RF fuzzy feature selection and efficient deep neural networks. *International Journal of Engineering Development and Research*, 14(1). https://doi.org/10.56975/ijedr.v14i1.303588

Mohan H M, Shivaraja Kumara H C, Mallikarjun S H, & Prasad A Y (2023). Edge artificial intelligence-based facial pain recognition during myocardial infarction. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*. https://doi.org/10.14313/jamris/3-2022/23

Mohit Garg (2025). Adaptive differential privacy in federated edge AI for medical IoT: Energy-efficient, HIPAA-compliant frameworks for distributed real-time diagnostics. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(34s), 36–44. https://doi.org/10.52783/jisem.v10i34s.5773

Motie-Shirazi, M., Nikookar, S., Ahmad, M., Rafiei, A., Sameni, R., Rohloff, P., Clifford, G. D., & Katebi, N. (2025). Real-time quality feedback on Doppler data for community midwives using edge-AI. *Machine Learning: Health*, 1(1), 015014. https://doi.org/10.1088/3049-477x/ae1bad

Mule, C. (2025). An edge AI–enabled assistive device for the visually impaired. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 13(7), 725–735. https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.73070

N., K., Gera, B. M., Sharma, B., & S., D. (2023). TinyML based deep learning model for activity detection. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(11s), 149–158. https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i11s.8081

Nawaz, A., Ramzan, H. H. M., Yu, X., Zou, Z., & Westerlund, T. (2026). Blockchain powered edge intelligence for U-healthcare in privacy critical and time sensitive environment. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 30(9), 8028–8039. https://doi.org/10.1109/jbhi.2025.3617291

Pande, P., Babu, B. M., Bhargav, P., Roy, T. L. D., Muniyandy, E., El-Ebiary, Y. A. B., & Earshia, V. D. (2025). Attention-driven hierarchical federated learning for privacy-preserving edge AI in heterogeneous IoT networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 16(5). https://doi.org/10.14569/ijacsa.2025.0160545

Pazienza, A., & Monte, D. (2022). Introducing the monitoring equipment mask environment. *Sensors*, 22(17), 6365. https://doi.org/10.3390/s22176365

Peruzzi, G., Galli, A., Giorgi, G., & Pozzebon, A. (2025). Sleep posture detection via embedded machine learning on a reduced set of pressure sensors. *Sensors*, 25(2), 458. https://doi.org/10.3390/s25020458

Phatcharasaksakol, B., Sittithanon, S., Pianapitham, V., Chantrapanichkul, V., Tang, J., & Chancharoen, R. (2026). Design and validation of a cyber–physical medication dispensing platform integrating edge AI verification, distributed control, and cloud synchronization. *Sensors*, 26(12), 3823. https://doi.org/10.3390/s26123823

Prabha, M., Nandhini, S., Dayanidhy, M., & Pradeep, R. (2025). Edge-AI integrated secure wireless IoT architecture for real time healthcare monitoring and federated anomaly detection. *Scientific Reports*, 16(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-30150-x

Priya, V., Aruna, M., Anitha, S., & Jenith Anisha, S. (2025). AI-enabled wearable system for real-time prediction of asthma exacerbation. *Iconic Research and Engineering Journals*, 9(5). https://doi.org/10.64388/irev9i5-1712170

Rincon, J. A., Guerra-Ojeda, S., Carrascosa, C., & Julian, V. (2020). An IoT and fog computing-based monitoring system for cardiovascular patients with automatic ECG classification using deep neural networks. *Sensors*, 20(24), 7353. https://doi.org/10.3390/s20247353

Saha, S. S., Sandha, S. S., Pei, S., Jain, V., Wang, Z., Li, Y., Sarker, A., & Srivastava, M. (2022). Auritus. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 6(2), 1–34. https://doi.org/10.1145/3534586

Sahafi, A., Wang, Y., Rasmussen, C. L. M., Bollen, P., Baatrup, G., Blanes-Vidal, V., Herp, J., & Nadimi, E. S. (2022). Edge artificial intelligence wireless video capsule endoscopy. *Scientific Reports*, 12(1). https://doi.org/10.1038/s41598-022-17502-7

Samakovlis, D., Albini, S., Álvarez, R. R., Constantinescu, D. A., Schiavone, P. D., Peón-Quirós, M., & Atienza, D. (2025). BiomedBench: A benchmark suite of TinyML biomedical applications for low-power wearables. IEEE Design & Test, 42(5), 45–54. https://doi.org/10.1109/mdat.2024.3483034

Sancheti, Y., Parikh, P., & Shah, P. (2025). Intelligent dual-leg wearable for early arthritis screening via gait analysis and on-device machine learning. *International Journal of Advanced Research*, 13(08), 137–148. https://doi.org/10.21474/ijar01/21497

Shon, A., Vernam, J. T., Du, X., & Wu, W. (2026). Edge AI-based gait-phase detection for closed-loop neuromodulation in SCI mice. *Sensors*, 26(4), 1311. https://doi.org/10.3390/s26041311

Shumba, A. T., Montanaro, T., Sergi, I., Fachechi, L., De Vittorio, M., & Patrono, L. (2022). Leveraging IoT-aware technologies and AI techniques for real-time critical healthcare applications. *Sensors*, 22(19), 7675. https://doi.org/10.3390/s22197675

Sokolov, S., & Georgieva, S. (2021). Using edge AI and language understanding for predictive modeling of acute medical intoxications. *The Journal of CIEES*, 1(2), 18–22. https://doi.org/10.48149/jciees.2021.1.2.3

Suffian, M., Ieracitano, C., Mammone, N., Pascarella, A., Ferlazzo, E., & Morabito, F. C. (2026). An EEG-based edge-AI framework for Alzheimer's and Creutzfeldt–Jakob disease classification. *Sensors*, 26(10), 3274. https://doi.org/10.3390/s26103274

Thaware, P., Khurshid, A. A., Sonkusare, C., & Agrawal, Y. (2025). Leveraging fundus images for on device eye disease diagnosis with AI powered lightweight software hardware framework. *Scientific Reports*, 15(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-20990-y

Trivedi, D., Jain, M., Patel, D., Parve, D., & Pathak, L. (2025). Quantum-assisted secure nano-network traffic framework for real-time medical data transmission in smart hospitals. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. https://doi.org/10.38124/ijisrt/25apr1661

Triwiyanto, T., Caesarendra, W., Purnomo, M. H., Sułowicz, M., Wisana, I. D. G. H., Titisari, D., Lamidi, L., & Rismayani, R. (2022). Embedded machine learning using a multi-thread algorithm on a Raspberry Pi platform to improve prosthetic hand performance. *Micromachines*, 13(2), 191. https://doi.org/10.3390/mi13020191

Varmazyar, M., Jafari, A. H., Karbasi, F., & Garosi, E. (2026). An intelligent wearable insole system for machine learning-based detection of high-risk postures in static symmetrical load-lifting tasks. *Scientific Reports*. https://doi.org/10.1038/s41598-026-60297-0

Verbiest, J. R., Bonnechère, B., Saeys, W., Van de Walle, P., Truijen, S., & Meyns, P. (2023). Gait stride length estimation using embedded machine learning. *Sensors*, 23(16), 7166. https://doi.org/10.3390/s23167166

Wang, G., Liu, X., Wang, Y., Xuan, F., Zhang, B., & Wang, X. (2026). A MXene-bridged triboelectric sensor for tinyML-empowered joint biomechanics. *Nano Research*, 19(3), 94908328. https://doi.org/10.26599/nr.2026.94908328

Wiyanti, D. T., Hsu, M. H., & Nugroho, D. C. (2026). Distillation of a locally deployable 8B language model for lung histology abstraction: A 33-report proof-of-concept study. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 19, 1–17. https://doi.org/10.2147/jmdh.s619855

Wu, H., Sawada, T., Goto, T., Yoneyama, T., Sasano, T., & Asada, K. (2024). Edge AI model deployed for real-time detection of atrial fibrillation risk during sinus rhythm. *Journal of Clinical Medicine*, 13(8), 2218. https://doi.org/10.3390/jcm13082218

Xie, J., Wu, Q., Dey, N., Shi, F., Sherratt, R. S., & Kuang, Y. (2025). Empowering stroke recovery with upper limb rehabilitation monitoring using TinyML based heterogeneous classifiers. *Scientific Reports*, 15(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-01710-y

Yahyati, C., Lamaakal, I., Makkaoui, K. E., & Ouahbi, I. (2026). A lightweight transformer with uncertainty handling for zero-shot epileptic seizure detection on TinyML edge devices. *Discover Artificial Intelligence*, 6(1). https://doi.org/10.1007/s44163-026-01656-8

Yan, J., He, Z., Ur Rehman Junejo, N., Li, Z., Grau, A., Huang, J., & Wang, C. (2024). EKFNet: edge-based Kalman filter network for real-time EEG signal denoising. *Journal of Neural Engineering*, 21(6), 066034. https://doi.org/10.1088/1741-2552/ad995a

Zaid Salah, O., Selvaperumal, S. K., & Abdulla, R. (2022). Accelerometer-based elderly fall detection system using edge artificial intelligence architecture. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12(4), 4430. https://doi.org/10.11591/ijece.v12i4.pp4430-4438

Zalewski, P., Marchegiani, L., Elsts, A., Piechocki, R., Craddock, I., & Fafoutis, X. (2020). From bits of data to bits of knowledge—An on-board classification framework for wearable sensing systems. *Sensors*, 20(6), 1655. https://doi.org/10.3390/s20061655

Zambrano-de la Torre, M., Guzman-Alfaro, S., Acuña-Correa, A., Soto-Murillo, M. A., Guzmán-Fernández, M., Robles-Ortiz, R., Villagrana-Bañuelos, K. E., Arceo-Olague, J. G., Espino-Salinas, C. H., Sánchez-Reyna, A. G., & Cuevas-Rodriguez, E. O. (2026). Real-time cardiac arrhythmia classification using TinyML on ultra-low-cost microcontrollers: A feasibility study for resource-constrained environments. *Bioengineering*, 13(5), 532. https://doi.org/10.3390/bioengineering13050532

Zeynali, M., Alipour, K., Tarvirdizadeh, B., & Ghamari, M. (2025). Non-invasive blood glucose monitoring using PPG signals with various deep learning models and implementation using TinyML. *Scientific Reports*, 15(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-84265-8

Zhu, L., Wang, C., He, Z., & Zhang, Y. (2022). A lightweight automatic sleep staging method for children using single-channel EEG based on edge artificial intelligence. *World Wide Web*, 25(5), 1883–1903. https://doi.org/10.1007/s11280-021-00983-3

# Parte II.

*Educación, cognición y aprendizaje para el siglo XXI.*

CAPÍTULO 5

# Evaluación del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) en Ecuador: aportes significativos al sistema educativo

*Evaluation of Universal Design for Learning (UDL) in Ecuador: significant contributions to the education system*

**1 Luis Gabriel Moya Solá**
*Magíster en Educación de Bachillerato con mención en Pedagogía de la Matemática*
Unidad Educativa "Sucre", Ecuador
a.r.b.o.l.i.t.o@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0003-6549-7855

**2 Luis Ernesto Pilco Cargua**
*Licenciado en Ciencias de la Educación, mención Biología y Química*
Unidad Educativa "Sucre", Ecuador
luisuil.81@gmail.com
https://orcid.org/0009-0003-7646-4100

**3 Dennis Alexander Freire Carvajal**
*Licenciado en Educación Básica*
Unidad Educativa "Sucre", Ecuador
xela1198@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0009-3989-2898

**4 Manuel Bladimir Cabascango Fonte**
*Licenciado en Ciencias de la Educación, mención Lenguaje y Literatura*
Unidad Educativa "Sucre", Ecuador
bladimirc12@outlook.com
https://orcid.org/0009-0008-2406-9383

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_5 RECIBIDO 03/09/2026 | ACEPTADO 15/10/2026

## RESUMEN

El estudio se fundamentó en la necesidad de evaluar la efectividad del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) como herramienta estratégica para la inclusión educativa en Ecuador, en un contexto donde la diversidad estudiantil exige ajustes pedagógicos que aseguren la equidad y la calidad en los procesos de enseñanza-aprendizaje. El objetivo principal fue analizar los aportes reales del DUA al sistema educativo, identificando tanto sus fortalezas como las limitaciones en su implementación. Además, se adoptó un enfoque metodológico mixto, combinando análisis cuantitativo y cualitativo para obtener una visión integral del fenómeno. El universo estuvo constituido por docentes y directivos de instituciones de educación básica y media de diversas regiones del país. La muestra, seleccionada mediante un muestreo estratificado proporcional, incluyó 120 participantes que representaron diferentes contextos socioeducativos. En cuanto a su alcance y limitaciones, los resultados permiten caracterizar las percepciones y experiencias de docentes y directivos participantes en diversos contextos socioeducativos del Ecuador, pero no pretenden establecer relaciones causales ni generalizaciones absolutas para la totalidad del sistema educativo nacional, debido al carácter contextual de la muestra y a que parte de la evidencia se sustenta en percepciones de los participantes. Para la recolección de datos se aplicaron encuestas estructuradas y entrevistas semiestructuradas, permitiendo cuantificar la percepción sobre la aplicación del DUA y profundizar en experiencias concretas de implementación. Los resultados evidenciaron que el DUA generó aportes significativos al sistema educativo, destacando la diversificación de estrategias pedagógicas, la flexibilización de contenidos y recursos, y la mayor participación de estudiantes con necesidades educativas diversas. No obstante, se identificaron

limitaciones vinculadas a la formación docente insuficiente, la planificación institucional parcial y la disponibilidad desigual de recursos adaptativos. Finalmente, se concluyó que el DUA aporta de manera tangible a la mejora de la inclusión educativa en Ecuador, fortaleciendo prácticas pedagógicas y promoviendo entornos de aprendizaje más equitativos. Sin embargo, su impacto pleno requiere capacitación docente constante, apoyo institucional sostenido y políticas educativas coherentes con principios inclusivos. Este estudio ofrece evidencia valiosa sobre la efectividad del DUA y constituye un referente para el diseño de estrategias educativas orientadas a la inclusión real.

**Palabras clave:** Diseño Universal para el Aprendizaje, contribuciones, inclusión educativa, evaluación

**ABSTRACT**

The study was based on the need to evaluate the effectiveness of Universal Design for Learning (UDL) as a strategic tool for educational inclusion in Ecuador, in a context where student diversity demands pedagogical adjustments that ensure equity and quality in teaching and learning processes. The main objective was to analyze the real contributions of UDL to the educational system, identifying both its strengths and limitations in implementation. Moreover, a mixed-methods approach was adopted, combining quantitative and qualitative analyses to obtain a comprehensive understanding of the phenomenon. The population consisted of teachers and administrators from primary and secondary educational institutions across various regions of the country. The sample, selected through proportional stratified sampling, included 120 participants representing different socio-educational contexts. Regarding its scope and limitations, the results make it possible to characterize the perceptions and experiences of participating teachers and school administrators across diverse socio-educational contexts in Ecuador; however, they do not seek to establish causal relationships or absolute generalizations for the national education system as a whole, given the contextual nature of the sample and the fact that part of the evidence is based on participants' perceptions. Data were collected using structured surveys and semi-structured interviews, enabling the quantification of perceptions regarding UDL implementation and an in-depth exploration of practical experiences. The results indicated that UDL generated significant contributions to the educational system, highlighting the diversification of pedagogical strategies, the flexibilization of content and resources, and increased participation of students with diverse educational needs. However, limitations were identified related to insufficient teacher training, partial institutional planning, and unequal availability of adaptive resources. Finally, it was concluded that UDL provides tangible benefits for improving educational inclusion in Ecuador, strengthening pedagogical practices and promoting more equitable learning environments. Nevertheless, its full impact requires continuous teacher training, sustained institutional support, and educational policies aligned with inclusive principles. This study offers valuable evidence on the effectiveness of UDL and serves as a reference for designing educational strategies aimed at achieving genuine inclusion.

**Keywords:** Universal Design for Learning, contributions, educational inclusion, evaluation

## 1. Introducción

El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) ha emergido como un enfoque pedagógico de relevancia internacional, orientado a garantizar la inclusión educativa en contextos caracterizados por la diversidad estudiantil. Investigaciones globales han evidenciado que la implementación del DUA permite diversificar estrategias pedagógicas, flexibilizar contenidos y recursos, y promover

la participación de estudiantes con distintas necesidades educativas. No obstante, también se han identificado desafíos significativos, como la insuficiente capacitación docente, la limitada disponibilidad de recursos adaptativos y la ausencia de políticas coherentes que respalden su integración efectiva en las aulas.

En el contexto ecuatoriano, la política educativa ha reconocido la importancia de la inclusión, incorporando estrategias y normativas para responder a la heterogeneidad del alumnado. A nivel nacional, sin embargo, la implementación del DUA se presenta de manera desigual, mostrando diferencias entre regiones, tipos de instituciones y niveles educativos. En ámbitos provinciales y regionales, persisten limitaciones relacionadas con la infraestructura educativa, la preparación del personal docente y la disponibilidad de recursos adaptativos, lo que condiciona la eficacia de las prácticas inclusivas y la equidad educativa en el país.

El estado actual del tema refleja un interés creciente por evaluar la efectividad del DUA y sus contribuciones reales al sistema educativo. Sin embargo, la brecha entre la teoría y la práctica evidencia que, en muchos casos, la aplicación del DUA se limita a un cumplimiento formal, sin un impacto tangible sobre la inclusión. El problema de investigación se centra, por tanto, en determinar si la implementación del DUA en Ecuador aporta de manera efectiva al fortalecimiento del sistema educativo o si se mantiene como un instrumento meramente declarativo.

En consecuencia, el objetivo de este estudio fue analizar los aportes reales del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) al sistema educativo ecuatoriano, identificando tanto sus fortalezas como las limitaciones en su implementación.

## 2. Métodos

### 2.1. Diseño y enfoque de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, mediante un diseño no experimental y transversal, con alcance descriptivo. Su propósito fue evaluar la implementación del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) y caracterizar las percepciones de docentes respecto de sus aportes a los procesos de enseñanza y aprendizaje en el contexto educativo ecuatoriano. El carácter no experimental se sustentó en la ausencia de manipulación deliberada de las variables, mientras que el corte transversal respondió a la recopilación de los datos durante un periodo determinado de la investigación.

El alcance descriptivo permitió identificar la frecuencia con la que los docentes declararon implementar prácticas asociadas con los principios del DUA, así como caracterizar las tendencias observadas en las dimensiones evaluadas. En consecuencia, los resultados fueron interpretados como evidencia descriptiva de las prácticas y percepciones de los participantes, sin establecer relaciones causales entre la implementación del DUA y los resultados educativos.

## 2.2. Población y muestra

La población de referencia estuvo constituida por docentes vinculados con instituciones educativas de diferentes provincias del Ecuador. Para favorecer la incorporación de distintos contextos educativos, se empleó un muestreo estratificado proporcional, considerando como criterios de estratificación el nivel educativo, la ubicación geográfica de la institución y el tipo de institución. Este procedimiento permitió organizar la población convocada de acuerdo con características previamente definidas y seleccionar participantes procurando mantener la proporción correspondiente a los estratos establecidos.

La convocatoria incluyó 130 docentes pertenecientes a 12 instituciones educativas distribuidas en siete provincias del Ecuador: Pichincha, Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua, Esmeraldas, Guayas y Napo. Del total de docentes convocados, 120 completaron el cuestionario, mientras que 10 no respondieron. La tasa de respuesta alcanzó, por tanto, el 92,3 %, mientras que la proporción de no respuesta correspondió al 7,7 %. En consecuencia, la muestra efectiva estuvo constituida por 120 docentes, cuyas respuestas fueron consideradas para el procesamiento y análisis de los datos.

De las 12 instituciones participantes, ocho fueron de sostenimiento fiscal (66,7 %) y cuatro de sostenimiento particular (33,3 %). La muestra estuvo integrada por 80 mujeres (66,7 %) y 40 hombres (33,3 %), con edades comprendidas entre los 33 y 57 años. Como criterios de inclusión se estableció contar con un mínimo de dos años de experiencia docente, haber participado en procesos o estrategias pedagógicas relacionadas con el DUA y mantener funciones activas de docencia, dirección o gestión pedagógica durante el periodo de recolección de información.

La caracterización de los docentes convocados y de la muestra efectiva se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Caracterización de la población convocada y de la muestra efectiva*

| Variable | Descripción | Frecuencia / porcentaje |
|---|---|---|
| Docentes convocados | Docentes considerados para participar en el estudio | 130 (100 %) |
| Encuestas respondidas | Docentes que completaron y devolvieron el cuestionario | 120 (92,3 %) |
| Encuestas no respondidas | Docentes convocados que no respondieron el cuestionario | 10 (7,7 %) |
| Muestra efectiva | Participantes cuyas respuestas fueron incluidas en el análisis | 120 |
| Provincias participantes | Pichincha, Imbabura, Cotopaxi, Tungurahua, Esmeraldas, Guayas y Napo | 7 |
| Instituciones fiscales | Instituciones participantes de sostenimiento fiscal | 8 (66,7 %) |
| Instituciones particulares | Instituciones participantes de sostenimiento particular | 4 (33,3 %) |

| Variable | Descripción | Frecuencia / porcentaje |
|---|---|---|
| Total de instituciones educativas | Instituciones incluidas en el estudio | 12 |
| Mujeres | Participantes según sexo | 80 (66,7 %) |
| Hombres | Participantes según sexo | 40 (33,3 %) |
| Rango de edad | Edad mínima y máxima de los participantes | 33–57 años |
| Experiencia profesional | Experiencia mínima establecida como criterio de inclusión | ≥ 2 años |
| Funciones profesionales | Funciones desempeñadas durante el periodo de estudio | Docencia, dirección o gestión pedagógica |

*Nota.* Los porcentajes correspondientes a la respuesta se calcularon sobre los 130 docentes convocados; los porcentajes relativos al sexo se calcularon sobre los 120 participantes que respondieron el cuestionario; y los porcentajes correspondientes al tipo de institución se calcularon sobre las 12 instituciones participantes. Elaboración propia a partir de los datos de la investigación.

La tasa de respuesta obtenida permitió disponer de información de la mayoría de los docentes convocados. No obstante, la tasa de respuesta no se consideró, por sí misma, evidencia suficiente de representatividad estadística de la totalidad del sistema educativo ecuatoriano. En consecuencia, la interpretación de los hallazgos se circunscribió a las características de los participantes y de las instituciones incluidas en el estudio.

## 2.3. Instrumento de recolección de datos

La recolección de información se realizó mediante un cuestionario estructurado, diseñado para evaluar la implementación de prácticas pedagógicas asociadas con los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje. El instrumento permitió obtener información cuantificable sobre la frecuencia con la que los docentes declararon incorporar estrategias orientadas a favorecer la participación, el acceso a la información y las diferentes formas de acción y expresión de los estudiantes.

El cuestionario se estructuró en tres dimensiones, correspondientes a los principios centrales del DUA: compromiso y participación, representación de la información, y acción y expresión. La primera dimensión estuvo orientada a valorar prácticas relacionadas con la motivación, la participación, la autonomía y la autorregulación. La segunda examinó el empleo de diferentes formas de presentar la información para favorecer su acceso y comprensión. La tercera evaluó la disponibilidad de alternativas para que los estudiantes pudieran demostrar sus aprendizajes mediante diferentes formas de acción, producción y expresión.

El instrumento estuvo conformado por 15 ítems, distribuidos en cinco ítems por dimensión. Los reactivos fueron formulados como afirmaciones cerradas y respondidos mediante una escala tipo Likert de cinco puntos, con valores comprendidos entre 1 = nunca y 5 = siempre.

La estructura metodológica del instrumento se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Estructura metodológica del instrumento para la evaluación del Diseño Universal para el Aprendizaje*

| Dimensión | Propósito de medición | Indicadores principales | Ejemplo de ítem | Escala | N.º de ítems |
|---|---|---|---|---|---|
| Compromiso y participación | Evaluar prácticas orientadas a favorecer la motivación, participación, autonomía y autorregulación de los estudiantes. | Motivación, participación, autonomía, interacción y autorregulación. | "Promuevo diferentes formas de participación para favorecer la implicación activa de los estudiantes." | Likert 1–5 | 5 |
| Representación de la información | Evaluar el empleo de diferentes formas de presentar y facilitar la comprensión de los contenidos. | Recursos visuales, auditivos y textuales, accesibilidad y comprensión. | "Presento los contenidos mediante diferentes formas de representación para facilitar su comprensión." | Likert 1–5 | 5 |
| Acción y expresión | Evaluar las oportunidades para que los estudiantes demuestren sus aprendizajes mediante diferentes formas de acción y expresión. | Diversidad de respuestas, producción, comunicación y evaluación flexible. | "Ofrezco diferentes alternativas para que los estudiantes demuestren lo que han aprendido." | Likert 1–5 | 5 |
| **Total** | Evaluación global de la implementación de los principios del DUA. | — | — | Likert 1–5 | **15** |

*Nota.* La escala de respuesta fue: 1 = nunca, 2 = casi nunca, 3 = algunas veces, 4 = casi siempre y 5 = siempre. Los ejemplos de ítems se incluyen para describir la estructura del instrumento. Elaboración propia.

## 2.4. Escala de medición

La escala utilizada permitió valorar la frecuencia declarada de implementación de las prácticas pedagógicas asociadas con el DUA. La correspondencia entre los valores asignados y las categorías de respuesta se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Escala de medición del cuestionario*

| Valor | Categoría de respuesta | Interpretación |
|---|---|---|
| 1 | Nunca | La práctica no se implementa. |
| 2 | Casi nunca | La práctica se implementa de manera excepcional. |
| 3 | Algunas veces | La práctica se implementa ocasionalmente. |
| 4 | Casi siempre | La práctica se implementa con frecuencia. |
| 5 | Siempre | La práctica se implementa de manera sistemática. |

*Nota.* La escala se aplicó de manera uniforme a los 15 ítems del cuestionario. Elaboración propia.

## 2.5. Validación y confiabilidad

La validez de contenido del cuestionario fue examinada mediante juicio de expertos en educación inclusiva, pedagogía y áreas relacionadas con el objeto de estudio. El proceso consideró criterios de claridad, pertinencia, coherencia y correspondencia entre los ítems, las dimensiones y los objetivos de investigación. Las observaciones formuladas durante la revisión fueron consideradas para ajustar la redacción de los reactivos y mejorar su precisión conceptual.

La consistencia interna del instrumento se estimó mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de $\alpha = .87$. Este coeficiente proporcionó evidencia de una consistencia interna adecuada entre los ítems del cuestionario para los propósitos descriptivos de la investigación. El resultado fue considerado como evidencia complementaria de la calidad técnica del instrumento, sin interpretarlo de manera aislada como prueba suficiente de validez de constructo.

## 2.6. Procedimiento de recolección de datos

La aplicación del cuestionario se efectuó de manera autoadministrada a los docentes que cumplían los criterios de inclusión y aceptaron participar en la investigación. El tiempo estimado de respuesta fue de aproximadamente 15 a 20 minutos por participante.

Una vez recopilados los cuestionarios, se realizó una revisión de la información para verificar su integridad y posteriormente se procedió a su organización y codificación para el análisis estadístico. Las respuestas obtenidas de los 120 participantes que completaron el instrumento constituyeron la base empírica para el análisis de los resultados.

No se realizaron entrevistas semiestructuradas como parte del procedimiento de recolección de datos. Por esta razón, el estudio no incorporó un componente cualitativo independiente ni procedimientos de codificación temática o triangulación de testimonios.

## 2.7. Procesamiento y análisis de los datos

Los datos fueron procesados mediante procedimientos de estadística descriptiva, utilizando frecuencias y porcentajes para caracterizar las respuestas de los participantes. De acuerdo con la naturaleza de las variables, se emplearon medidas de tendencia central cuando resultaron pertinentes.

Las respuestas fueron analizadas considerando las tres dimensiones del instrumento: compromiso y participación, representación de la información, y acción y expresión. El análisis permitió identificar tendencias en la frecuencia declarada de implementación de prácticas vinculadas con los principios del DUA.

Cuando correspondió examinar la asociación entre variables categóricas, se empleó la prueba de independencia de chi cuadrado ($\chi^2$). La interpretación de los resultados inferenciales se realizó considerando las características del diseño y del procedimiento de selección de los participantes. En particular, las asociaciones estadísticas fueron interpretadas como relaciones entre las variables analizadas y no como evidencia de causalidad.

### 2.8. Fuentes de información

Las principales fuentes de información fueron de carácter primario, correspondientes a las respuestas proporcionadas directamente por los docentes participantes mediante el cuestionario. Estas evidencias fueron complementadas con fuentes secundarias procedentes de literatura científica y documentación especializada relacionada con el Diseño Universal para el Aprendizaje, la educación inclusiva y las prácticas pedagógicas orientadas a atender la diversidad.

### 2.9. Consideraciones éticas

La participación en el estudio fue voluntaria y estuvo precedida por la información correspondiente sobre sus objetivos y características. Se obtuvo el consentimiento informado de los participantes y se adoptaron medidas para preservar la confidencialidad de la información proporcionada. Los datos fueron tratados de forma agregada y utilizados exclusivamente con fines académicos y de investigación. Asimismo, se respetó el derecho de los participantes a no responder o retirarse del estudio sin que ello implicara consecuencias para ellos.

En conjunto, los procedimientos metodológicos, definición de criterios de inclusión, aplicación de un instrumento estructurado, validación mediante juicio de expertos, estimación de la consistencia interna y aplicación sistemática de procedimientos estadísticos permitieron establecer una base metodológica coherente para la evaluación descriptiva de la implementación del DUA en los contextos educativos considerados.

## 3. Resultados

El análisis de las respuestas obtenidas de los 120 docentes permitió caracterizar la percepción de los participantes respecto de la incorporación del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) en las prácticas pedagógicas. Los resultados se organizaron en cuatro indicadores relacionados con la diversificación de las estrategias, la participación inclusiva, la disponibilidad de recursos adaptativos y la formación docente especializada.

En términos generales, se observó una valoración favorable de la incorporación de principios del DUA en la práctica pedagógica. El 78 % de los docentes manifestó que el DUA favorecía la diversificación de las estrategias de enseñanza, mientras que el 65 % señaló que su aplicación contribuía a promover una participación más inclusiva del alumnado. Estos resultados evidencian una percepción predominantemente positiva respecto de la utilidad pedagógica del enfoque, particularmente en aquellos aspectos vinculados con la flexibilización de las estrategias y la participación de los estudiantes.

No obstante, se identificaron diferencias importantes entre la valoración de los principios del DUA y las condiciones institucionales necesarias para su implementación. Solo el 42 % de los participantes indicó disponer de recursos adaptativos suficientes, mientras que el 37 % reportó contar con formación docente especializada para su aplicación. La diferencia entre la valoración de la diversificación pedagógica (78 %) y la disponibilidad de recursos (42 %) representa 36 puntos

porcentuales, mientras que la diferencia respecto de la formación especializada (37 %) alcanza 41 puntos porcentuales. Estas brechas sugieren que la aceptación del DUA entre los docentes no necesariamente se corresponde con la disponibilidad de condiciones institucionales y formativas suficientes para consolidar su aplicación sistemática (véase la Tabla 4).

**Tabla 4**

*Percepción docente sobre aspectos asociados a la implementación del DUA*

| Indicador evaluado | Respuestas favorables (%) |
|---|---|
| Diversificación de las estrategias pedagógicas | 78 % |
| Promoción de la participación inclusiva | 65 % |
| Disponibilidad de recursos adaptativos suficientes | 42 % |
| Formación docente especializada | 37 % |

*Nota.* Los porcentajes corresponden a las respuestas favorables reportadas por los 120 docentes participantes. Las diferencias expresadas en puntos porcentuales se calcularon entre los indicadores descritos. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos mediante el cuestionario.

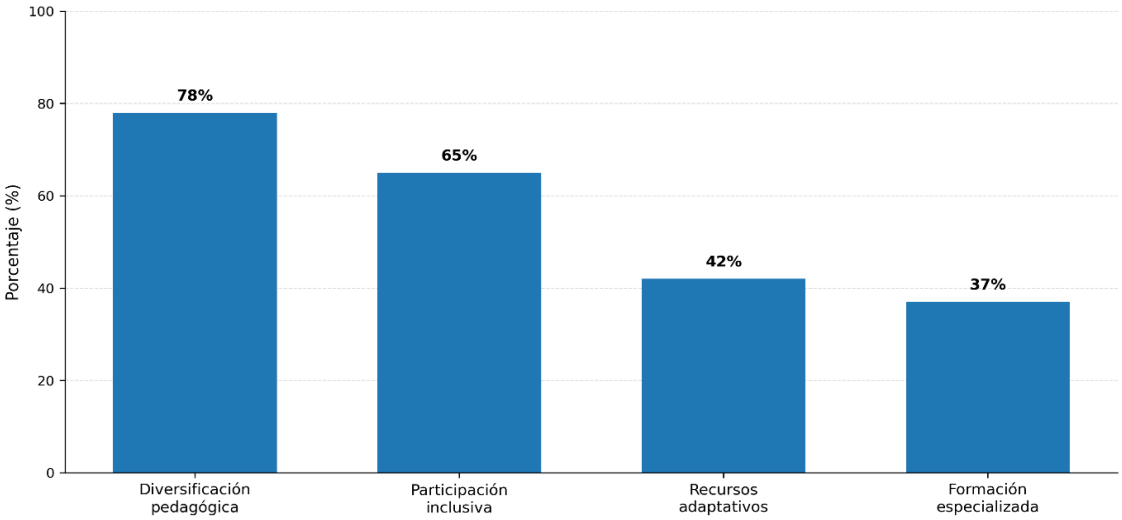
Los resultados muestran, por tanto, una tendencia favorable hacia la dimensión pedagógica del DUA, pero una valoración considerablemente menor de los factores relacionados con las condiciones de implementación. La diferencia observada entre ambos componentes constituye uno de los principales hallazgos del estudio, debido a que permite distinguir entre la valoración conceptual y pedagógica del DUA y las condiciones materiales y formativas requeridas para su aplicación efectiva.

Desde una perspectiva comparativa descriptiva, la diversificación de las estrategias presentó el porcentaje favorable más elevado (78 %), seguida de la promoción de la participación inclusiva (65 %). En contraste, los recursos adaptativos (42 %) y la formación especializada (37 %) registraron los porcentajes más bajos. En consecuencia, se aprecia una disminución progresiva de las valoraciones favorables a medida que los indicadores se desplazan desde la percepción de utilidad pedagógica hacia las condiciones institucionales necesarias para sostener la implementación del enfoque.

Esta tendencia permite interpretar que, dentro del grupo estudiado, existe una mayor aceptación de los principios del DUA que disponibilidad percibida de los recursos y procesos de capacitación necesarios para aplicarlos de manera sistemática. El resultado es particularmente relevante para la gestión educativa, puesto que evidencia que la incorporación del DUA no depende exclusivamente de la disposición del docente, sino también de condiciones institucionales que favorezcan la planificación, disponibilidad de recursos y formación profesional continua (véase la Figura 1).

**Figura 1**

*Distribución de las respuestas docentes sobre la implementación del DUA*




*Nota.* Los porcentajes representan respuestas favorables. Las diferencias entre indicadores son descriptivas y no corresponden a pruebas de significancia estadística. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos mediante el cuestionario aplicado a docentes (n = 120).

## 3.1. Síntesis de los hallazgos

En conjunto, los resultados permiten identificar dos tendencias complementarias. La primera corresponde a una valoración favorable del DUA como estrategia para diversificar la enseñanza y favorecer la participación del alumnado. La segunda evidencia una brecha entre dicha valoración y las condiciones necesarias para su implementación, particularmente en materia de recursos adaptativos y formación especializada.

La diferencia de 36 puntos porcentuales entre la diversificación de estrategias y la disponibilidad de recursos, así como la diferencia de 41 puntos porcentuales entre la diversificación y la formación especializada, constituyen indicadores descriptivos relevantes de esta brecha. Por consiguiente, los resultados sugieren que uno de los principales desafíos no radica únicamente en el reconocimiento del valor pedagógico del DUA, sino en generar las condiciones institucionales que permitan trasladar sus principios a prácticas sostenidas.

Estos hallazgos deben interpretarse dentro del alcance del diseño cuantitativo, no experimental, transversal y descriptivo del estudio. En consecuencia, los porcentajes obtenidos permiten caracterizar las respuestas de los docentes participantes, pero no establecer relaciones causales ni afirmar que la implementación del DUA produzca directamente determinados resultados en el aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, debido a que la información disponible corresponde a percepciones y reportes docentes, los resultados deben entenderse como evidencia sobre la implementación percibida del DUA y no como una medición directa de sus efectos sobre el rendimiento académico.

Finalmente, aunque el estudio incorporó participantes procedentes de siete provincias y de instituciones fiscales y particulares, los resultados deben interpretarse de acuerdo con las características de la muestra efectiva de 120 docentes. Por ello, las conclusiones se circunscriben al

grupo participante y no deben extrapolarse de manera irrestricta al conjunto del sistema educativo ecuatoriano.

## 4. Discusión

Los resultados de este estudio aportaron evidencia de que el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) constituye un enfoque con potencial para fortalecer prácticas pedagógicas orientadas a la inclusión en el contexto educativo ecuatoriano, especialmente en lo relacionado con la diversificación de estrategias metodológicas y la participación de estudiantes con necesidades educativas diversas. Este hallazgo es coherente con la literatura internacional que destaca que el DUA facilita ambientes de aprendizaje más accesibles y equitativos mediante la incorporación de múltiples medios de representación, acción y expresión (Al-Azawei et al., 2016).

En la misma línea, Hernández Barahona (2023) plantea que el DUA favorece una educación inclusiva al articular la planificación didáctica con múltiples formas de implicación, representación y acción-expresión, atendiendo las diferencias individuales, los ritmos de aprendizaje y las competencias del estudiantado. En concordancia con estos planteamientos, Muñoz-Ortiz et al. (2023) señalan que el DUA constituye un enfoque orientado a fortalecer la educación inclusiva mediante la atención a la diversidad y la reducción de barreras en los procesos de aprendizaje.

Asimismo, la concepción del UDL como un enfoque capaz de transformar las prácticas docentes más allá de la adaptación puntual de materiales fue enfatizada por Lambert et al. (2023), quienes identificaron modificaciones relevantes en las creencias y prácticas pedagógicas de docentes después de procesos formativos relacionados con DUA. Por otro lado, Choez-Aranea et al. (2024) destacan que el Diseño Universal para el Aprendizaje favorece la inclusión educativa al reducir barreras de aprendizaje y promover estrategias pedagógicas flexibles que responden a la diversidad de los estudiantes.

La convergencia entre estos antecedentes y los resultados obtenidos adquiere particular relevancia en el contexto ecuatoriano, debido a que los hallazgos muestran que la incorporación del DUA se relaciona principalmente con cambios en la manera de diversificar las estrategias pedagógicas y ampliar las posibilidades de participación. Sin embargo, esta coincidencia debe interpretarse con cautela: los resultados del presente estudio reflejan fundamentalmente percepciones y prácticas reportadas por los participantes, por lo que no permiten afirmar, por sí solos, una relación causal entre la aplicación del DUA y una mejora directa del rendimiento académico. Esta precisión constituye una diferencia importante respecto de investigaciones que han empleado diseños experimentales, cuasiexperimentales o longitudinales.

Los resultados cuantitativos muestran una elevada percepción de diversificación metodológica, acompañada de una limitada capacitación docente. Esta relación entre valoración positiva del DUA y restricciones para su implementación coincide con investigaciones desarrolladas en el ámbito nacional. Jiménez Villacis (2024) y Navas (2022) señalan que la insuficiente formación continua y la disponibilidad limitada de recursos específicos constituyen factores que pueden restringir la consolidación de prácticas inclusivas fundamentadas en el DUA. En particular,

Navas (2022) identifica una brecha entre el reconocimiento conceptual del DUA y el dominio de sus componentes operativos, situación que también encuentra correspondencia con los resultados de este estudio.

No obstante, el presente estudio aporta un matiz adicional al mostrar que la valoración favorable del enfoque no necesariamente se traduce en condiciones equivalentes para su implementación. Mientras los participantes reconocen posibilidades de diversificación pedagógica y participación inclusiva, los resultados evidencian menores niveles en capacitación especializada y disponibilidad de recursos adaptativos. Esta diferencia permite plantear que el principal desafío no reside únicamente en el reconocimiento del valor pedagógico del DUA, sino en generar las condiciones institucionales que permitan convertir dicho reconocimiento en una práctica sistemática y sostenible. De igual manera, Quinzo Guevara et al. (2024) evidencian que el DUA favorece la inclusión educativa al fortalecer la accesibilidad, la participación y la flexibilidad pedagógica; no obstante, su implementación efectiva requiere formación docente, recursos adecuados y planificación institucional.

A nivel latinoamericano, Rodríguez Valerio y Segura Castillo (2023) también mostraron que el conocimiento y uso del DUA entre docentes es heterogéneo, evidenciando diferencias entre profesionales que han recibido formación formal y aquellos que no han tenido oportunidades similares. Este antecedente coincide con la heterogeneidad identificada en el presente estudio, particularmente entre diferentes contextos educativos y regionales. La coincidencia resulta significativa porque sugiere que las condiciones de formación profesional pueden influir en la profundidad con que los principios del DUA son incorporados a la práctica pedagógica. Sin embargo, mientras Rodríguez Valerio y Segura Castillo (2023) centran su análisis en las diferencias de conocimiento y uso, los resultados de esta investigación permiten ampliar la discusión hacia la interacción entre capacitación, disponibilidad de recursos y condiciones institucionales.

Desde esta perspectiva, la capacitación docente continua no debería comprenderse exclusivamente como una actividad de actualización conceptual. Los resultados sugieren la necesidad de procesos formativos orientados a la aplicación práctica del DUA, mediante planificación de experiencias de aprendizaje accesibles, diversificación de formas de participación, utilización de recursos adaptativos y estrategias de evaluación flexibles. Por tanto, el aporte específico de este estudio consiste en evidenciar que la formación profesional y las condiciones institucionales deben analizarse de manera articulada para comprender las posibilidades reales de implementación del DUA.

El metanálisis internacional sobre DUA presentada por King-Sears et al. (2023) indica que los efectos asociados con el DUA sobre el rendimiento académico tienden a ser moderados, aunque positivos. Este antecedente introduce una diferencia relevante frente a la interpretación de los resultados del presente estudio. Mientras King-Sears et al. (2023) examinan evidencia relacionada con resultados de aprendizaje, esta investigación se concentra principalmente en percepciones docentes, prácticas pedagógicas y condiciones de implementación. En consecuencia, ambos tipos de evidencia no son directamente equivalentes, pero pueden complementarse: la literatura

internacional permite valorar los posibles efectos educativos del enfoque, mientras que los resultados de este estudio permiten identificar algunas de las condiciones que pueden favorecer o limitar su aplicación en el contexto ecuatoriano.

Esta distinción metodológica resulta fundamental para evitar una interpretación excesiva de los hallazgos. La elevada valoración de la diversificación pedagógica observada en este estudio constituye evidencia sobre la percepción y aplicación reportada del DUA, pero no equivale automáticamente a una demostración de mejora en el rendimiento académico. Para establecer esta última relación serían necesarios estudios con mediciones longitudinales, grupos de comparación o diseños experimentales y cuasiexperimentales que permitan analizar cambios en resultados de aprendizaje.

Por otro lado, la literatura especializada ha identificado desafíos persistentes asociados con la implementación del DUA, entre ellos la disponibilidad insuficiente de recursos tecnológicos accesibles, la ausencia de acompañamiento institucional y las dificultades relacionadas con la transformación de prácticas pedagógicas (Meyer et al., 2014). Estos desafíos también se hicieron evidentes en las entrevistas cualitativas, en las cuales los docentes reconocieron la utilidad del DUA, pero señalaron barreras estructurales para su implementación integral.

La integración de los resultados cuantitativos y cualitativos permite profundizar esta interpretación. Los datos cuantitativos muestran que el 78 % de los docentes identifica una contribución del DUA a la diversificación de estrategias pedagógicas y que el 65 % reconoce aportes en la participación inclusiva. Paralelamente, la evidencia cualitativa permite comprender que estas valoraciones favorables coexisten con dificultades relacionadas con capacitación, recursos, planificación institucional y seguimiento. En este sentido, las entrevistas no contradicen los resultados de las encuestas, sino que contribuyen a explicar las condiciones en las que dichas tendencias se producen.

La principal aportación interpretativa de esta convergencia consiste, por tanto, en mostrar una posible brecha entre la apropiación pedagógica del enfoque y las condiciones institucionales disponibles para sostenerlo. El DUA parece ser reconocido por los participantes como una alternativa pertinente para responder a la diversidad; sin embargo, su implementación integral requiere superar factores que exceden la actuación individual del docente. Esta consideración desplaza la discusión desde una perspectiva centrada exclusivamente en la responsabilidad del profesorado hacia una comprensión sistémica de la inclusión educativa.

### 4.1. Implicaciones educativas

Los hallazgos presentan varias implicaciones para la práctica educativa. En primer lugar, sugieren la conveniencia de fortalecer programas de formación docente continua que articulen fundamentos teóricos del DUA con experiencias prácticas de planificación, diseño de materiales accesibles, evaluación diversificada y utilización de recursos tecnológicos y no tecnológicos. En segundo lugar, resulta necesario promover procesos de acompañamiento pedagógico que permitan a los docentes revisar, adaptar y evaluar progresivamente sus prácticas. En tercer lugar, la implementación del DUA requiere considerar las particularidades territoriales y las condiciones de

cada institución, especialmente en contextos rurales o con limitaciones de infraestructura y conectividad.

Asimismo, los resultados permiten considerar que la inclusión no debería depender exclusivamente de iniciativas individuales del profesorado. La creación de comunidades profesionales de aprendizaje, espacios de intercambio de experiencias y mecanismos institucionales de seguimiento podría favorecer una implementación más coherente y sostenida del enfoque. Desde esta perspectiva, el DUA puede integrarse a los procesos de planificación institucional y no limitarse a intervenciones aisladas dentro del aula.

### 4.2. Implicaciones para la política pública educativa

Desde el ámbito de la política pública, los resultados sugieren la necesidad de fortalecer la articulación entre las políticas de educación inclusiva, formación docente, provisión de recursos y acompañamiento institucional. La existencia de una valoración favorable del DUA entre los docentes, junto con las limitaciones identificadas en capacitación y recursos adaptativos, indica que la incorporación de principios inclusivos requiere mecanismos que garanticen condiciones efectivas para su aplicación.

En este sentido, las políticas educativas podrían orientarse hacia programas permanentes de desarrollo profesional, criterios de accesibilidad en la provisión de recursos educativos, fortalecimiento de la infraestructura tecnológica y mecanismos de seguimiento que permitan valorar no solamente el cumplimiento formal de disposiciones inclusivas, sino también su incorporación efectiva en las prácticas pedagógicas. Estas acciones deberían considerar las diferencias territoriales e institucionales identificadas en el estudio, evitando asumir que todas las unidades educativas disponen de condiciones equivalentes para implementar el DUA.

Finalmente, los resultados sugieren que futuras investigaciones deberían ampliar la evidencia mediante diseños longitudinales y metodologías mixtas que permitan relacionar las prácticas basadas en DUA con indicadores de participación, aprendizaje, permanencia y experiencia educativa de los estudiantes. También sería pertinente desarrollar estudios comparativos entre instituciones urbanas y rurales, así como investigaciones que analicen el efecto de diferentes modalidades de capacitación al profesorado sobre la implementación sostenida del enfoque. De esta manera, se podría avanzar desde la identificación de percepciones favorables hacia una comprensión más precisa de las condiciones bajo las cuales el DUA genera resultados educativos sostenibles.

En síntesis, esta discusión evidencia que el DUA presenta aportes relevantes para el fortalecimiento de prácticas educativas inclusivas, particularmente en la diversificación metodológica y la ampliación de oportunidades de participación. Sin embargo, el contraste con investigaciones nacionales, latinoamericanas e internacionales muestra que estos aportes están condicionados por factores relacionados con la formación docente, los recursos disponibles y el respaldo institucional. Por ello, la evidencia obtenida no debe interpretarse únicamente como una valoración positiva del enfoque, sino como un llamado a comprender su implementación desde una

perspectiva sistémica, en la que las prácticas docentes, las condiciones institucionales y las decisiones de política educativa se encuentren articuladas.

## 5. Conclusiones

El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) constituye un enfoque pertinente para el fortalecimiento de prácticas educativas inclusivas en el contexto ecuatoriano, particularmente por su contribución a la diversificación de estrategias pedagógicas, la flexibilización de contenidos y recursos y la ampliación de oportunidades de participación para estudiantes con necesidades educativas diversas. Los resultados obtenidos permiten concluir que su incorporación favorece una concepción más flexible de la enseñanza, en la medida en que desplaza la atención desde la adaptación individual posterior hacia el diseño anticipado de experiencias de aprendizaje capaces de responder a la diversidad del estudiantado.

Una de las principales contribuciones originales de esta investigación radica en la articulación de evidencia cuantitativa y cualitativa para analizar no solamente la valoración del DUA por parte de los docentes, sino también las condiciones que favorecen o limitan su implementación en el sistema educativo ecuatoriano. Los resultados muestran una diferencia relevante entre la percepción favorable de los aportes pedagógicos del enfoque y la disponibilidad de condiciones institucionales para desarrollarlo de manera sostenida. Esta evidencia permite identificar que la implementación del DUA debe comprenderse como un proceso multidimensional en el que interactúan las competencias docentes, los recursos disponibles, la planificación institucional y el acompañamiento educativo.

La implementación efectiva del DUA depende de factores que trascienden su adopción conceptual. La formación especializada del profesorado, el acompañamiento pedagógico continuo, la disponibilidad de recursos adaptativos y la planificación institucional constituyen condiciones fundamentales para transformar sus principios en prácticas educativas sistemáticas. En consecuencia, la familiaridad o valoración positiva del enfoque no garantiza por sí misma una transformación profunda de las prácticas pedagógicas, particularmente cuando existen restricciones relacionadas con la formación profesional, los recursos y el apoyo institucional.

Los resultados permiten identificar una brecha entre el reconocimiento de la utilidad pedagógica del DUA y las condiciones objetivas requeridas para su implementación. Esta situación evidencia que la inclusión educativa no puede depender exclusivamente de la iniciativa individual de los docentes, sino que requiere estructuras institucionales que proporcionen formación, recursos, orientación y mecanismos de seguimiento. En este sentido, uno de los aportes interpretativos del estudio consiste en mostrar que la sostenibilidad del DUA requiere una responsabilidad compartida entre docentes, equipos directivos, instituciones educativas y organismos responsables de la gestión y formulación de políticas educativas.

Entre las principales limitaciones se encuentra el carácter predominantemente descriptivo de los resultados, lo que restringe la posibilidad de establecer relaciones causales entre la aplicación del DUA y los resultados de aprendizaje. Asimismo, la información obtenida mediante encuestas

y entrevistas se encuentra condicionada por las percepciones y experiencias reportadas por los participantes, por lo que puede existir una diferencia entre las prácticas declaradas y las prácticas efectivamente desarrolladas en el aula.

A partir de estas limitaciones, futuras investigaciones podrían ampliar la evidencia mediante diseños longitudinales, experimentales o cuasiexperimentales que permitan analizar cambios asociados con la implementación del DUA en indicadores de aprendizaje, participación, permanencia y experiencia educativa. También sería pertinente desarrollar estudios comparativos entre instituciones urbanas y rurales, entre diferentes niveles educativos y entre contextos con distintos niveles de disponibilidad de recursos.

## Referencias bibliográficas

Al-Azawei, A.-, Serenelli, F., & Lundqvist, K. (2016). Universal Design for Learning (UDL): A content analysis of peer-reviewed journal papers from 2012 to 2015. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning 16,* 39-56. https://doi.org/10.14434/josotl.v16i3.19295

Choez-Aranea, J. J., Espinoza-Morán, M. E., González-Ortega, R. L., & Pacheco-Chasipanta, V. F. (2025). Inclusión educativa a través del diseño universal: superando barreras para estudiantes con dificultades de aprendizaje. *Revista Científica Multidisciplinaria HEXACIENCIAS. ISSN: 3028-8657*, *5*(9), 432–450. Recuperado a partir de https://soeici.org/index.php/hexaciencias/article/view/527

Hernández Barahona, Y. (2023). Diseño Universal de Aprendizaje (DUA) en los espacios formativos de las personas adultas. *Revista Académica Arjé*, *6*(1), 1-17. https://doi.org/10.47633/arje.v6i1.616

Jiménez Villacis, N. R. (2024). Inclusión educativa y diseño universal para el aprendizaje (DUA): estrategias para la diversidad en el aula. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, *5*(5), 1539–1549. https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2722

King-Sears, M. E., Stefanidis, A., Evmenova, A., Rao, K., Mergen, R. L., Owen, L. S., & Strimel, M. M. (2023). Achievement of learners receiving UDL instruction: A meta-analysis. Teaching and Teacher Education, 122, 103956. https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103956

Lambert, R. L., McNiff, A., Schuck, R., Imm, K., & Zimmerman, S. (2023). UDL is a way of thinking: theorizing UDL teacher knowledge, beliefs, and practices. *Frontiers in Education 8*, 1145293. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1145293

Meyer, A., Rose, D. H., & Gordon, D. (2014). *Universal design for learning: Theory and practice*. CAST Professional Publishing.

Muñoz-Ortiz, W. W., García-Mera, G. M., Esteves-Fajardo, Z. I., & Peñalver-Higuera, M. J. (2023). El Diseño Universal de Aprendizaje: Un enfoque para la educación inclusiva. *EPISTEME KOINONIA*, *6*(12), 167–183. https://doi.org/10.35381/e.k.v6i12.2550

Navas, M. G. (2022). The Universal Design of Learning: A systematic review. *Revista Ecos de la Academia*, *7*(14). https://doi.org/10.53358/ecosacademia.v7i14.621

Quinzo Guevara, J. I., Llanos Orellana, A. R., Zamora Farias, A. D., & Zarria Quinaucho, R. E. (2024). Diseño universal de aprendizaje (DUA): estrategias para la inclusión educativa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *8*(4), 10216–10240. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13166

Rodríguez Valerio, D., & Segura Castillo, M. A. (2023). Putting inclusive education into practice: The language of universal design for learning (UDL). *Innovaciones Educativas, 27*(43), 147–160. https://doi.org/10.22458/ie.v27i43.5645

CAPÍTULO 6

# Neuroeducación en contextos educativos: una revisión de sus aportes al aprendizaje, la emoción y la cognición

*Neuroeducation in educational contexts: a review of its contributions to learning, emotion, and cognition*

**1 Tania de los Angeles Cevallos Camacho**
*Licenciada en Ciencias de la Educación, mención Cultura Física*
Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Ecuador
tania.cevallosc@docentes.educacion.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-8465-8444

**2 Gloria Fernanda Zapata Villegas**
*Magíster en Innovación en Educación*
Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Ecuador
fernandazapata1269@outlook.es
https://orcid.org/0009-0002-6978-9452

**3 Diego Andrés Carpio Yanchaguano**
*Magíster en Gestión Educativa*
Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Ecuador
diego.carpio111@gmail.com
https://orcid.org/0009-0001-2302-3040

**4 Favio Enrique Jácome Tipán**
*Magíster en Educación Secundaria*
Ministerio de Educación, Deporte y Cultura, Ecuador
facjacometipan@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0007-5862-3672

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_6 RECIBIDO 04/09/2026 | ACEPTADO 16/10/2026

## RESUMEN

La neuroeducación constituye un campo interdisciplinario que integra aportes de la neurociencia, la psicología y las ciencias de la educación para comprender los mecanismos que intervienen en el aprendizaje y orientar prácticas pedagógicas fundamentadas en evidencia científica. En los últimos años, el interés por esta perspectiva ha aumentado debido a la necesidad de comprender la relación entre procesos cerebrales, cognitivos y emocionales y su influencia en el desarrollo educativo. El objetivo de esta revisión es analizar los principales aportes de la neuroeducación en contextos educativos, con especial atención a su relación con el aprendizaje, la emoción y la cognición. Se realizó una revisión documental de literatura científica, mediante la búsqueda y selección de artículos académicos, revisiones sistemáticas, libros y documentos especializados publicados en bases de datos científicas. Se consideraron criterios de pertinencia temática, calidad académica, actualidad y contribución al análisis de la relación entre neurociencia y educación. Los principales hallazgos evidencian que procesos como la atención, la memoria, la motivación y las funciones ejecutivas desempeñan un papel fundamental en el aprendizaje, mientras que las emociones influyen significativamente en la disposición, el compromiso y la consolidación de los conocimientos. Asimismo, la neuroplasticidad destaca la importancia de generar experiencias educativas estimulantes y contextualizadas. Se concluye que la neuroeducación ofrece aportes relevantes para fortalecer la comprensión de los procesos de enseñanza y aprendizaje; sin embargo, su aplicación requiere una interpretación crítica de la evidencia científica y evitar la incorporación de neuromitos o generalizaciones no sustentadas.

**Palabras clave:** neuroeducación, aprendizaje, emociones, cognición, neurociencia

**ABSTRACT**

Neuroeducation constitutes an interdisciplinary field that integrates contributions from neuroscience, psychology, and educational sciences to understand the mechanisms involved in learning and to guide pedagogical practices grounded in scientific evidence. In recent years, interest in this perspective has increased due to the need to understand the relationship between brain, cognitive, and emotional processes and their influence on educational development. The objective of this review is to analyze the main contributions of neuroeducation in educational contexts, with particular attention to its relationship with learning, emotion, and cognition. A documentary review of the scientific literature was conducted through the search and selection of academic articles, systematic reviews, books, and specialized documents published in scientific databases. The selection criteria included thematic relevance, academic quality, currency, and contribution to the analysis of the relationship between neuroscience and education. The main findings indicate that processes such as attention, memory, motivation, and executive functions play a fundamental role in learning, while emotions significantly influence students' readiness, engagement, and knowledge consolidation. Likewise, neuroplasticity highlights the importance of creating stimulating and contextualized educational experiences. It is concluded that neuroeducation offers relevant contributions to strengthening the understanding of teaching and learning processes; however, its application requires a critical interpretation of scientific evidence and the avoidance of incorporating neuromyths or unsupported generalizations.

**Keywords:** neuroeducation, learning, emotions, cognition, neuroscience

## 1. Introducción

En las últimas décadas, la comprensión de los procesos educativos ha experimentado una progresiva ampliación de sus perspectivas de análisis. La investigación sobre el funcionamiento cerebral ha permitido reconocer que aprender no constituye exclusivamente un proceso asociado con la adquisición de información, sino un fenómeno complejo en el que convergen mecanismos cognitivos, emocionales, motivacionales y sociales. Dentro de este escenario, la neuroeducación emerge como un ámbito interdisciplinario orientado a establecer vínculos entre los conocimientos procedentes de la neurociencia y los fundamentos de las ciencias de la educación, con el propósito de favorecer una comprensión más amplia de los procesos implicados en la enseñanza y el aprendizaje.

El interés creciente por esta perspectiva responde, en buena medida, a la necesidad de superar aproximaciones educativas que han considerado de manera fragmentada los factores que intervienen en el aprendizaje. La evidencia científica ha puesto de manifiesto la relevancia de procesos como la atención, la memoria, las funciones ejecutivas, la motivación y la regulación emocional en la construcción del conocimiento. No obstante, trasladar los resultados de la investigación neurocientífica al ámbito educativo representa un desafío considerable, debido a las diferencias existentes entre las condiciones experimentales en las que se produce gran parte de la evidencia y la complejidad inherente a los escenarios reales de aprendizaje. Esta situación hace

necesaria una lectura rigurosa de los hallazgos disponibles y una valoración crítica de sus posibilidades de aplicación pedagógica.

A esta problemática se suma la circulación de interpretaciones simplificadas sobre el funcionamiento cerebral que, pese a presentarse como científicas, carecen de suficiente respaldo empírico. La presencia de neuromitos constituye, en este sentido, una preocupación relevante, puesto que puede conducir a prácticas educativas sustentadas en concepciones imprecisas acerca del cerebro y del aprendizaje. En consecuencia, el desarrollo de la neuroeducación demanda no solamente la incorporación de conocimientos neurocientíficos, sino también la capacidad de interpretar sus alcances, limitaciones y condiciones de aplicabilidad desde una perspectiva interdisciplinaria.

La relevancia científica y académica de esta temática radica precisamente en la posibilidad de examinar de manera articulada la interacción entre cognición, emoción y aprendizaje. Desde esta perspectiva, comprender el papel de la neuroplasticidad, los mecanismos atencionales, la memoria, las funciones ejecutivas y los estados emocionales puede contribuir a enriquecer la discusión sobre las condiciones que favorecen experiencias educativas significativas. Sin embargo, tales aportes requieren ser examinados desde una postura crítica que evite establecer relaciones causales o aplicaciones pedagógicas que no hayan sido suficientemente respaldadas por la investigación.

Bajo estas consideraciones, la presente revisión se justifica por la necesidad de sistematizar y analizar críticamente la producción científica relacionada con la neuroeducación, identificando sus principales contribuciones al ámbito educativo, así como los desafíos que acompañan su incorporación en las prácticas pedagógicas. Una aproximación de esta naturaleza permite reconocer tanto las posibilidades que ofrece el diálogo entre neurociencia y educación como las precauciones necesarias para evitar reduccionismos y aplicaciones carentes de fundamento científico.

En correspondencia con lo anterior, el objetivo de esta revisión es analizar los principales aportes de la neuroeducación en contextos educativos, particularmente aquellos relacionados con el aprendizaje, la emoción y la cognición, a partir de la revisión de literatura científica pertinente. Se busca, además, identificar los principales planteamientos que sustentan este campo, sus implicaciones para los procesos educativos y las limitaciones que deben considerarse para una incorporación responsable de la evidencia neurocientífica en la educación.

## 2. Metodología de la revisión

La presente investigación se desarrolló bajo el enfoque de una revisión integrativa de la literatura, debido a que este método permite recopilar, organizar, analizar y sintetizar conocimientos provenientes de diferentes tipos de estudios relacionados con un fenómeno de interés. A diferencia de una revisión centrada exclusivamente en un determinado diseño metodológico, la revisión integrativa posibilita establecer conexiones entre resultados empíricos, aportes teóricos y perspectivas conceptuales, favoreciendo una comprensión amplia del objeto de estudio.

En este caso, su utilización resulta pertinente para examinar los principales aportes de la neuroeducación en relación con el aprendizaje, la emoción y la cognición, así como sus implicaciones para los contextos educativos. El proceso contempló la definición de una estrategia de búsqueda, la consulta de bases de datos académicas, el establecimiento de criterios de inclusión y exclusión y un procedimiento sistemático para la selección y análisis de las fuentes.

Para fortalecer la transparencia del procedimiento, el proceso documental se organizó en las etapas de identificación, depuración, elegibilidad e inclusión. La descripción de estas etapas permitió establecer la trazabilidad de las fuentes consideradas y documentar el procedimiento mediante el cual se conformó el corpus definitivo de análisis. Asimismo, la estructura del proceso de selección tomó como referencia las recomendaciones de transparencia de PRISMA 2020 (Page et al., 2021), sin modificar el carácter integrativo de la revisión.

### 2.1. Estrategia de búsqueda documental

La estrategia de búsqueda se estructuró a partir de los conceptos centrales derivados del objetivo de la revisión, con el propósito de identificar, recuperar y analizar publicaciones científicas relacionadas con la neuroeducación y su vinculación con los procesos de aprendizaje, cognición, emoción y desarrollo de las funciones neurocognitivas. Se emplearon términos en español e inglés, considerando la necesidad de ampliar la recuperación de literatura científica internacional y regional.

Entre las principales palabras clave se consideraron:

- Neuroeducación / Neuroeducation.
- Neurociencia / Neuroscience.
- Aprendizaje / Learning.
- Cognición / Cognition.
- Emoción / Emotion.
- Educación / Education.
- Neurociencia educativa / Educational neuroscience.
- Neuroplasticidad / Neuroplasticity.
- Funciones ejecutivas / Executive functions.
- Motivación / Motivation.

Los descriptores fueron combinados mediante los operadores booleanos AND y OR para favorecer una recuperación amplia y pertinente de literatura. Entre las combinaciones conceptuales consideradas se incluyeron *"neuroeducation" OR "educational neuroscience" AND "learning"*, *"cognition" OR "emotion"* y *"neuroscience" AND "education" AND "neuroplasticity"*, así como *"executive functions" OR "motivation"*. Estas expresiones se adaptaron al español y a las características de búsqueda de cada plataforma, procurando mantener la correspondencia entre los descriptores, el objeto de estudio y los criterios de selección documental.

La búsqueda documental comprendió el período 2020–2026, incorporando de manera complementaria publicaciones anteriores cuando resultaron necesarias para fundamentar referentes teóricos y conceptuales relevantes para la evolución de la neuroeducación. Esta decisión metodológica permitió considerar aportes fundamentales relacionados con la neuroplasticidad, la memoria, la emoción y el aprendizaje, cuya relevancia conceptual trasciende los límites cronológicos establecidos para la búsqueda principal.

La delimitación temporal se aplicó de manera preferente a las publicaciones recientes, sin excluir automáticamente los antecedentes teóricos pertinentes. La selección final se fundamentó en la correspondencia temática, la calidad y verificabilidad de la información científica, así como en la contribución de cada estudio a los objetivos de la revisión. Como resultado del proceso de actualización y revisión del corpus documental, el conjunto definitivo quedó conformado por dieciséis estudios científicos, los cuales constituyeron la base documental para el análisis y la síntesis integrativa.

## 2.2. Bases de datos consultadas

Para favorecer la diversidad, pertinencia y calidad de la información recuperada, se consultaron bases de datos y plataformas académicas especializadas, entre ellas:

- Scopus.
- Web of Science.
- PubMed.
- ERIC.
- SciELO.
- Redalyc.
- Dialnet.

La selección de estas fuentes respondió a su relevancia para la recuperación de investigaciones vinculadas con la neurociencia, la educación, la psicología, el aprendizaje y los procesos cognitivos. Asimismo, la consulta de bases de datos internacionales y regionales permitió considerar aportes procedentes de distintos contextos académicos, lingüísticos y educativos.

La búsqueda se orientó a la identificación de publicaciones científicas indexadas o académicamente verificables. Posteriormente, las referencias potencialmente pertinentes fueron contrastadas mediante sus registros bibliográficos, DOI u otros identificadores disponibles, así como mediante la revisión de la información científica necesaria para establecer su correspondencia con el objeto de estudio.

Con el propósito de fortalecer la trazabilidad de la revisión, se consideró necesario distinguir entre los registros recuperados inicialmente, las referencias duplicadas, los documentos examinados durante la evaluación de pertinencia y los estudios finalmente incorporados al corpus. Esta diferenciación permite evitar que el número de publicaciones seleccionadas se confunda con

el total de resultados obtenidos en las bases de datos y facilita la reconstrucción del procedimiento de búsqueda y selección documental.

### 2.3. Criterios de inclusión

Con el propósito de asegurar la pertinencia temática, la consistencia científica y la utilidad analítica de la documentación seleccionada, se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- Publicaciones académicas relacionadas directamente con la neuroeducación, la neurociencia educativa, el aprendizaje, la emoción o la cognición.
- Artículos publicados en revistas científicas indexadas o en fuentes académicas cuya procedencia pudiera verificarse.
- Publicaciones correspondientes, preferentemente, al período 2020–2026, con incorporación justificada de antecedentes teóricos relevantes.
- Documentos disponibles en español o inglés.
- Investigaciones que presentaran información suficiente para identificar sus objetivos, enfoque metodológico y principales resultados.
- Revisiones sistemáticas, revisiones integrativas, estudios empíricos, metanálisis y aportes teóricos pertinentes al objetivo de la investigación.
- Documentos que aportaran evidencia relevante para comprender las relaciones entre los procesos neurocognitivos, emocionales y educativos.
- Publicaciones cuyo texto completo o registro científico permitiera verificar su autoría, año, fuente editorial, objetivo, metodología y principales resultados.
- Estudios que contribuyeran a explicar los procesos de aprendizaje, cognición, emoción, neuroplasticidad y funciones ejecutivas, así como sus implicaciones para la práctica educativa.
- Publicaciones que presentaran DOI u otro identificador bibliográfico verificable, cuando estuviera disponible.

La aplicación de estos criterios se realizó atendiendo a la pertinencia sustantiva de cada documento y a su contribución al problema de investigación, evitando que la selección dependiera exclusivamente de la coincidencia de palabras clave o de la fecha de publicación.

### 2.4. Criterios de exclusión

En correspondencia con los criterios de inclusión, se establecieron las siguientes condiciones de exclusión:

- Documentos duplicados recuperados en diferentes bases de datos o plataformas académicas.
- Publicaciones sin relación directa con el objeto de estudio.

- Literatura de carácter no académico o sin respaldo científico verificable.
- Documentos cuyo texto completo no pudiera consultarse cuando su revisión resultara indispensable para determinar la pertinencia y la calidad de la evidencia.
- Estudios que no proporcionaran información suficiente sobre sus objetivos, procedimientos metodológicos o resultados.
- Publicaciones centradas exclusivamente en aspectos clínicos o neurológicos que no establecieran una relación pertinente con el ámbito educativo.
- Documentos que presentaran afirmaciones sobre el aprendizaje y el funcionamiento cerebral sin fundamentación científica suficiente.
- Publicaciones cuya procedencia bibliográfica no pudiera verificarse o cuya información resultara insuficiente para sustentar el análisis.
- Documentos cuyo contenido no presentara una relación sustantiva con los procesos de aprendizaje, cognición, emoción, neuroplasticidad, funciones ejecutivas o aplicaciones educativas de la neurociencia.

Estos criterios se utilizaron como parámetros de depuración y evaluación de la evidencia, de modo que la exclusión de un documento respondiera a una razón identificable y metodológicamente justificable. La eliminación de duplicados se distinguió de la exclusión por falta de pertinencia, insuficiencia metodológica o ausencia de información verificable, dado que se trata de situaciones diferentes dentro del proceso de selección documental.

### 2.5. Procedimiento de identificación, depuración y selección documental

El procedimiento de selección documental se organizó en cuatro etapas: identificación, depuración, elegibilidad e inclusión. Esta secuencia permitió estructurar el proceso de revisión y diferenciar las referencias recuperadas inicialmente de los documentos evaluados y de los estudios que finalmente conformaron el corpus de análisis.

Primera etapa: identificación. Se efectuaron las búsquedas en las bases de datos y plataformas académicas seleccionadas mediante la aplicación de los descriptores en español e inglés y sus respectivas combinaciones booleanas. En esta fase se identificaron los registros bibliográficos potencialmente relacionados con el objetivo de la revisión. El número total de registros identificados por cada base de datos debe consignarse a partir de los resultados originales de búsqueda, evitando atribuir cifras que no hayan sido documentadas.

Segunda etapa: depuración. Los registros recuperados se sometieron a una revisión bibliográfica preliminar para identificar coincidencias entre referencias, verificar los datos de autoría, año y fuente editorial, y reconocer posibles duplicados. Asimismo, se realizó una primera valoración de los títulos y resúmenes para determinar su relación con los ejes temáticos de la investigación. En esta fase deben diferenciarse los registros duplicados eliminados de aquellos descartados por falta de correspondencia temática, siempre que estos últimos hayan sido efectivamente excluidos durante la revisión preliminar.

Tercera etapa: elegibilidad. Los documentos que superaron la depuración inicial fueron examinados con mayor profundidad mediante la revisión de los resúmenes y, cuando estuvo disponible y resultó necesario, del texto completo. La valoración se realizó conforme a los criterios de inclusión y exclusión establecidos previamente, considerando la pertinencia temática, la claridad de los objetivos, la suficiencia de la información metodológica, la verificabilidad de las fuentes y la contribución de cada estudio a la comprensión de la relación entre neurociencia y educación. Los documentos excluidos en esta etapa deben registrarse de acuerdo con su motivo principal de exclusión, sin contabilizar nuevamente los duplicados previamente eliminados.

Cuarta etapa: inclusión. Una vez concluida la evaluación de elegibilidad, se conformó el corpus documental definitivo. Como resultado de la actualización de la selección bibliográfica, se incorporaron dieciséis estudios científicos al análisis final, en sustitución del corpus inicialmente descrito de diez publicaciones. Estos estudios fueron considerados pertinentes para la síntesis integrativa por su relación con los ejes de neuroeducación, aprendizaje, cognición, emoción, neuroplasticidad, funciones ejecutivas y aplicaciones educativas de la neurociencia.

En consecuencia, el corpus definitivo quedó constituido por dieciséis estudios. Esta cifra corresponde al conjunto final de documentos seleccionados para el análisis y no debe interpretarse como el total de registros identificados en las bases de datos. Para completar la trazabilidad metodológica, es necesario consignar, a partir de los registros de búsqueda, el número de referencias inicialmente recuperadas, los duplicados eliminados, los documentos examinados, los textos completos evaluados y las exclusiones efectuadas en cada etapa.

La presentación diferenciada de estas cantidades permitirá documentar de forma transparente el flujo de selección y justificar la composición final del corpus, fortaleciendo la reproducibilidad y el rigor metodológico de la revisión (véase la Tabla 1).

**Tabla 1**

*Proceso de identificación y selección del corpus documental*

| Etapa | Procedimiento | n |
|---|---|---|
| Identificación | Publicaciones potencialmente pertinentes identificadas | 16 |
| Depuración | Registros duplicados dentro del corpus proporcionado | 0 |
| Selección | Publicaciones evaluadas por título y resumen | 16 |
| Exclusión inicial | Publicaciones excluidas por falta de pertinencia | 0 |
| Elegibilidad | Textos/documentos evaluados para inclusión | 16 |
| Exclusión por criterios de calidad o pertinencia | Documentos excluidos | 0 |
| Inclusión | Documentos incorporados a la revisión integrativa | 16 |

*Nota.* La tabla representa la reconstrucción del proceso de selección a partir del corpus bibliográfico proporcionado para el estudio. Las cifras no representan un registro histórico de resultados individuales obtenidos en cada base de datos. Elaboración propia.

## 2.6. Evaluación de la calidad de las fuentes

Con el propósito de fortalecer la rigurosidad de la revisión, las publicaciones seleccionadas fueron sometidas a una valoración de calidad documental y metodológica. La evaluación consideró la correspondencia entre objetivo, diseño, procedimiento y resultados, así como la claridad de la metodología, la suficiencia de la información reportada, la consistencia de los resultados y la pertinencia de las conclusiones respecto del objetivo del estudio.

Debido a la diversidad de diseños incluidos, la valoración se realizó atendiendo a la naturaleza de cada publicación. En las revisiones sistemáticas y metanálisis se consideraron la claridad de la pregunta u objetivo, la estrategia de búsqueda, los criterios de selección, la descripción de los estudios incluidos, los procedimientos de análisis y las limitaciones reconocidas por los autores. En los artículos de revisión se valoraron la fundamentación científica, la coherencia de la síntesis, la actualidad de las fuentes y la relación entre los argumentos desarrollados y el objeto de estudio.

La valoración de calidad permitió determinar que las diez publicaciones seleccionadas presentaban información bibliográfica verificable y una relación directa con los ejes temáticos de la investigación. Se otorgó especial atención a estudios de síntesis y metanálisis, debido a su capacidad para integrar resultados procedentes de múltiples investigaciones. No obstante, sus resultados fueron interpretados considerando las limitaciones y características metodológicas señaladas por sus respectivos autores.

## 2.7. Extracción y organización de la información

La información de las dieciséis publicaciones incluidas se organizó mediante una matriz de extracción documental. Para cada estudio se registraron autoría, año de publicación, título, revista, DOI, tipo de estudio, objetivo, población o unidad de análisis, principales variables o categorías, resultados relevantes y aportes relacionados con la neuroeducación.

Posteriormente, la evidencia se agrupó en categorías temáticas relacionadas con los principales componentes del objeto de estudio: neuroplasticidad, funciones ejecutivas, emoción, aprendizaje, cognición, aprendizaje socioemocional, neuroeducación y neuromitos educativos. Esta organización permitió establecer relaciones conceptuales entre los diferentes estudios y facilitar la síntesis transversal de sus principales aportes.

## 2.8. Análisis e integración de la evidencia

El análisis se desarrolló mediante una síntesis narrativa y temática. Los resultados fueron comparados de acuerdo con el tipo de publicación, población o unidad de análisis, enfoque metodológico y categoría temática. Se identificaron convergencias y diferencias entre los estudios y posteriormente se integraron los hallazgos para establecer una interpretación global de la relación entre neurociencia, procesos cognitivos, emociones y aprendizaje.

La interpretación se realizó considerando el alcance de cada diseño de investigación. En consecuencia, no se establecieron relaciones causales a partir de estudios cuyo diseño no

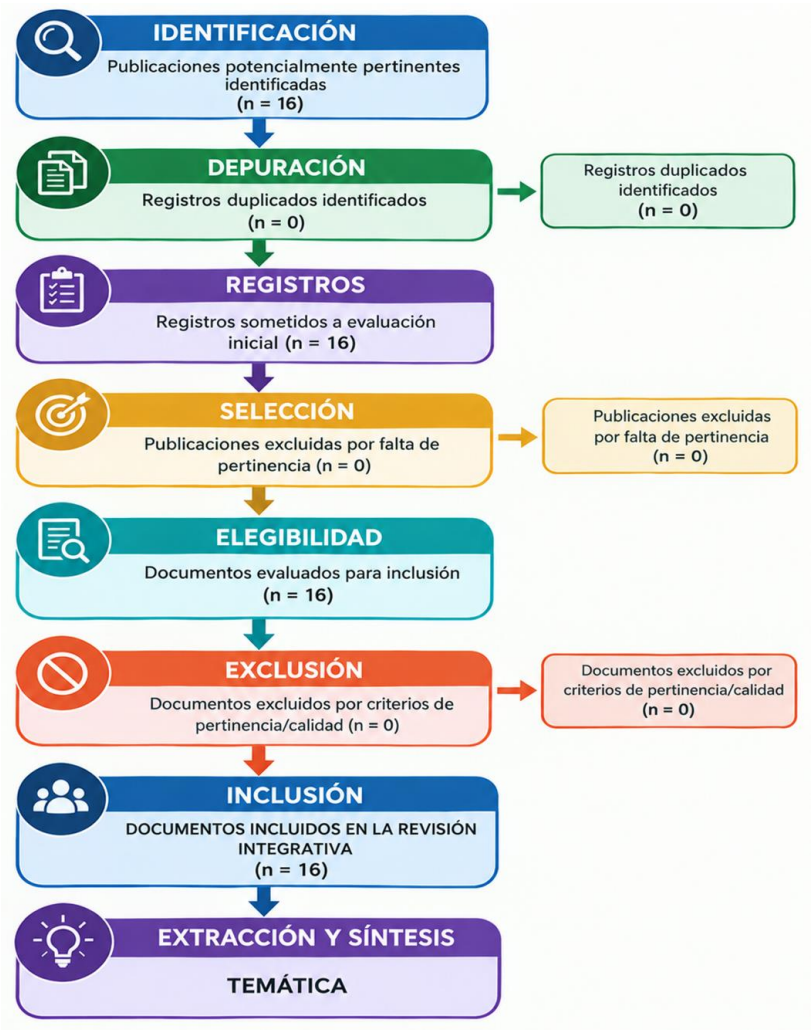
permitiera sustentarlas y se consideraron las limitaciones metodológicas señaladas en las publicaciones originales.

## 2.9. Diagrama de flujo del proceso de selección documental

El proceso de selección documental se representó mediante un diagrama de flujo que sintetiza las etapas de identificación, depuración, selección, evaluación e inclusión de las publicaciones. Debido a que no se conservaron los registros históricos de las búsquedas individuales realizadas en cada base de datos, el diagrama representa de manera explícita la reconstrucción del corpus documental a partir de las dieciséis referencias verificables proporcionadas para la investigación (véase la Figura 1).

**Figura 1**

*Diagrama de flujo de identificación, selección y conformación del corpus documental*




*Nota.* La representación del flujo se utiliza para transparentar la depuración del corpus disponible y no pretende reconstruir retrospectivamente cantidades de registros recuperados en cada base de datos que no hayan quedado documentadas. Elaboración propia a partir del corpus documental proporcionado.

# 3. Desarrollo de la revisión

## 3.1. Neuroeducación: fundamentos, evolución y tendencias actuales de investigación

La neuroeducación se ha consolidado progresivamente como un ámbito interdisciplinario orientado a establecer relaciones entre los conocimientos derivados de la neurociencia, la psicología y las ciencias de la educación. Su interés fundamental radica en comprender los procesos que intervienen en el aprendizaje y, a partir de dicha comprensión, analizar de qué manera la evidencia científica puede contribuir a enriquecer las prácticas pedagógicas. En este sentido, la neuroeducación no debería entenderse como una disciplina destinada a sustituir los fundamentos pedagógicos, sino como un espacio de diálogo entre diferentes campos del conocimiento que permita interpretar el aprendizaje desde una perspectiva biológica, cognitiva, emocional y educativa (Pradeep et al., 2024).

Una de las líneas de investigación que ha adquirido particular relevancia es el estudio de la neuroplasticidad, entendida como la capacidad del sistema nervioso para modificar determinadas características estructurales y funcionales en respuesta a la experiencia. Esta propiedad resulta especialmente significativa durante la infancia y la adolescencia, etapas en las que el cerebro presenta una elevada capacidad de adaptación. En esta línea, Tymofiyeva y Gaschler (2021), mediante una revisión sistemática de 71 estudios de neuroimagen realizados con niños y adolescentes, identificaron cambios en activación cerebral, estructura, microestructura y conectividad en el 87 % de las investigaciones; sin embargo, solamente el 48 % incorporó una condición de control, lo que limita la posibilidad de atribuir causalmente tales modificaciones a las intervenciones examinadas.

La evidencia disponible permite sostener que las experiencias de aprendizaje pueden relacionarse con modificaciones en el funcionamiento cerebral, aunque esta afirmación debe interpretarse con cautela. En este sentido, Weyandt et al. (2020), mediante una revisión sistemática de 28 estudios que emplearon siete modalidades de neuroimagen, encontraron resultados compatibles con cambios neuroplásticos asociados a intervenciones cognitivas y sensoriomotoras, pero señalaron una importante heterogeneidad entre estudios y dificultades para establecer con precisión la naturaleza causal de dichos cambios. La comparación entre ambas revisiones resulta particularmente relevante: mientras Tymofiyeva y Gaschler aportan evidencia amplia sobre cambios neurales asociados con diferentes tipos de entrenamiento, Weyandt et al. muestran que la heterogeneidad de las intervenciones y de las técnicas de medición impide traducir automáticamente dichos hallazgos en recomendaciones educativas generalizables. Por consiguiente, la convergencia entre ambos trabajos se encuentra en el reconocimiento de la plasticidad dependiente de la experiencia, mientras que la principal divergencia reside en el alcance interpretativo que puede atribuirse a los cambios observados.

A partir de esta consideración, una de las tendencias más relevantes de la investigación contemporánea consiste en fortalecer los mecanismos de transferencia entre la investigación neurocientífica y la práctica educativa. Por otro lado, Pradeep et al. (2024) señalan que el desarrollo de la neuroeducación requiere comprender las dinámicas neuronales implicadas en el aprendizaje

y establecer conexiones responsables con los procesos de enseñanza. En consecuencia, la evidencia revisada permite identificar una transición conceptual desde una aproximación centrada exclusivamente en la descripción de mecanismos cerebrales hacia una perspectiva de integración entre neurociencia, psicología del aprendizaje y pedagogía.

En paralelo, la investigación ha otorgado creciente atención a los neuromitos, debido a que determinadas interpretaciones simplificadas del funcionamiento cerebral pueden incorporarse a los discursos educativos sin suficiente respaldo empírico. La revisión sistemática realizada por Torrijos-Muelas et al. (2021) mostró que estas creencias persisten entre docentes y futuros docentes, pese al aumento del interés por la neurociencia aplicada a la educación. Esta evidencia introduce una tensión relevante dentro del campo: el crecimiento del conocimiento neurocientífico no se corresponde necesariamente con una transferencia rigurosa de dicho conocimiento hacia las prácticas educativas.

La problemática continúa siendo relevante en la actualidad. Por esta razón, Rousseau (2024) señala que los neuromitos todavía representan una dificultad para la transferencia adecuada del conocimiento neurocientífico hacia la educación y revisa diferentes estrategias de formación profesional dirigidas a docentes en ejercicio, entre ellas textos de refutación, formación básica en neurociencia, reflexión sobre conceptos como la plasticidad cerebral y experiencias de contacto con grupos de investigación. La coincidencia entre Torrijos-Muelas et al. (2021) y Rousseau (2024) permite interpretar la alfabetización neurocientífica docente no como un componente accesorio, sino como un mecanismo de mediación entre la producción científica y su utilización pedagógica. No obstante, Rousseau desplaza el foco desde la identificación del problema hacia las estrategias de formación profesional que podrían contribuir a reducirlo.

En consecuencia, las tendencias actuales de la neuroeducación parecen orientarse menos hacia la búsqueda de metodologías pedagógicas denominadas simplemente “neuro” y más hacia la construcción de puentes metodológicamente rigurosos entre investigación cerebral, psicología del aprendizaje y práctica educativa. Desde una perspectiva comparativa, los estudios revisados convergen en tres elementos: la existencia de plasticidad dependiente de la experiencia, la necesidad de interpretar los resultados neurocientíficos dentro de sus condiciones metodológicas y la importancia de mejorar la alfabetización científica del profesorado. Las divergencias se relacionan principalmente con el tipo de evidencia empleada y con el grado de transferencia que puede establecerse entre los resultados experimentales y las decisiones pedagógicas.

En términos educativos, estas tendencias poseen implicaciones diferenciadas. En educación inicial y primaria, la evidencia puede contribuir a fundamentar experiencias de aprendizaje variadas, activas y ajustadas al desarrollo, sin asumir que una determinada actividad produce por sí misma cambios cerebrales específicos. En educación secundaria, puede favorecer una mayor comprensión de procesos relacionados con autorregulación, aprendizaje y desarrollo adolescente. En la formación docente, adquiere especial importancia el desarrollo de competencias para interpretar críticamente investigaciones neurocientíficas y distinguir evidencia empírica de neuromitos (véase la Tabla 2).

**Tabla 2**

*Síntesis comparativa de las principales evidencias sobre neuroeducación y neuroplasticidad*

| Estudio | Diseño/aporte | Hallazgo principal | Coincidencia | Limitación o divergencia | Implicación educativa |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tymofiyeva y Gaschler (2021)** | Revisión sistemática de estudios de neuroimagen (71 estudios). | El 87 % de los estudios reportó cambios neurales asociados con diferentes experiencias de entrenamiento. | Evidencia de plasticidad neural vinculada con la experiencia y el aprendizaje. | Solo el 48 % de los estudios incorporó una condición de control, lo que limita las inferencias causales. | Justifica considerar la influencia de las experiencias de aprendizaje sobre el desarrollo neural, evitando interpretaciones causales simplistas. |
| **Weyandt et al. (2020)** | Revisión sistemática de 28 estudios sobre intervenciones cognitivas y sensoriomotoras. | Se identificó evidencia de cambios relacionados con la neuroplasticidad después de determinadas intervenciones. | Coincide en reconocer que las experiencias e intervenciones pueden asociarse con modificaciones neurobiológicas. | Se observó elevada heterogeneidad en diseños, muestras e intervenciones. | Recomienda cautela al extrapolar resultados neurobiológicos experimentales a contextos educativos reales. |
| **Torrijos-Muelas et al. (2021)** | Revisión sistemática centrada en neuromitos y conocimientos neurocientíficos en educación. | Se evidenció la persistencia de neuromitos en diferentes contextos educativos. | Destaca la necesidad de fundamentar las prácticas educativas en evidencia científica. | Variabilidad en instrumentos, poblaciones y procedimientos de evaluación. | Plantea fortalecer la alfabetización científica y neuroeducativa del profesorado para favorecer decisiones pedagógicas fundamentadas. |
| **Rousseau (2024)** | Revisión de intervenciones orientadas a la formación docente en neurociencia. | Se identificaron estrategias formativas destinadas a reducir la presencia de neuromitos. | Coincide en la importancia de la formación científica para mejorar la interpretación de la evidencia neuroeducativa. | La evidencia sobre la eficacia de las diferentes modalidades formativas es heterogénea. | Sugiere incorporar alfabetización neurocientífica y pensamiento crítico en los programas de desarrollo profesional docente. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de los estudios revisados.

## 3.2. Procesos cognitivos implicados en el aprendizaje: atención, memoria y funciones ejecutivas

El aprendizaje académico constituye un proceso complejo en el que intervienen diferentes mecanismos cognitivos que permiten seleccionar información, mantenerla activa, relacionarla con conocimientos previos, inhibir respuestas irrelevantes y orientar la conducta hacia determinados objetivos. Entre estos mecanismos, las funciones ejecutivas ocupan un lugar destacado debido a su participación en actividades que demandan planificación, control cognitivo, resolución de problemas y adaptación de estrategias. Desde esta perspectiva, comprender los procesos cognitivos

asociados al aprendizaje constituye uno de los principales puntos de convergencia entre neurociencia, psicología cognitiva y educación.

La memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva representan componentes centrales de las funciones ejecutivas. Su participación en el desempeño académico ha sido examinada mediante estudios de síntesis que permiten superar las conclusiones derivadas de investigaciones individuales. Desde otro aporte académico, Spiegel et al. (2021), mediante un metanálisis que integró 299 estudios y 65.605 niños en edad escolar, encontraron asociaciones significativas entre diferentes componentes de las funciones ejecutivas y resultados relacionados con lectura, matemáticas y lenguaje.

La memoria de trabajo presentó asociaciones moderadas y relativamente consistentes con estos resultados académicos, mientras que las relaciones correspondientes al control inhibitorio y la flexibilidad mostraron mayor variabilidad según el dominio académico estudiado. Por otro lado, Vernucci et al. (2023) examinaron los efectos del entrenamiento de la memoria de trabajo sobre las capacidades cognitivas y el desempeño académico en escolares con desarrollo típico, contribuyendo al análisis de sus alcances y de la relación entre entrenamiento cognitivo y aprendizaje.

La magnitud de esta evidencia permite establecer una comparación relevante con la literatura previa: la memoria de trabajo aparece como el componente ejecutivo con relaciones más consistentes con distintos dominios académicos, mientras que la contribución del control inhibitorio y del cambio o flexibilidad cognitiva depende en mayor medida de la habilidad curricular examinada. Por tanto, los estudios convergen en reconocer la importancia de las funciones ejecutivas, pero divergen en la intensidad y estabilidad de sus asociaciones con los diferentes resultados escolares.

Estos resultados permiten comprender que el rendimiento escolar no depende exclusivamente de la cantidad de conocimientos adquiridos. La capacidad para mantener información temporalmente, controlar respuestas automáticas, cambiar de estrategia y mantener una meta durante la resolución de una tarea también interviene en la actividad académica. En consecuencia, las funciones ejecutivas pueden considerarse recursos cognitivos transversales que contribuyen a organizar la conducta orientada hacia el aprendizaje, aunque su relación con el desempeño varía de acuerdo con la edad, la tarea y el dominio curricular (Spiegel et al., 2021).

La memoria de trabajo merece particular atención debido a su relación con la manipulación activa de información durante actividades cognitivamente exigentes. Sin embargo, la literatura también advierte que los efectos derivados del entrenamiento cognitivo no necesariamente se generalizan de manera amplia hacia capacidades no entrenadas.

Una revisión sistemática y metanálisis sobre entrenamiento de actualización de la memoria de trabajo encontró resultados favorables tanto en determinados indicadores cognitivos como neuronales, pero el debate sobre la transferencia hacia habilidades diferentes de las entrenadas continúa siendo relevante (Pappa et al., 2020). De manera específica, Pappa et al. (2020) encontraron mejoras particularmente claras en tareas entrenadas y efectos de transferencia cercana, pero no evidencia suficiente de transferencia lejana hacia dominios cognitivos generales.

Esta conclusión complementa la evidencia de Spiegel et al. (2021): la relación entre funciones ejecutivas y rendimiento académico no implica que el entrenamiento aislado de una función produzca automáticamente mejoras generalizadas en todas las áreas escolares.

Esta evidencia tiene implicaciones importantes para la educación. Si bien el fortalecimiento de determinadas habilidades cognitivas puede constituir un objetivo pedagógico pertinente, no resulta metodológicamente adecuado asumir que cualquier actividad diseñada para "entrenar el cerebro" generará mejoras generales en el rendimiento escolar. La transferencia del aprendizaje depende de múltiples factores y requiere analizar las características específicas de la intervención, las habilidades evaluadas y la distancia entre la tarea de entrenamiento y el resultado educativo esperado.

Desde una perspectiva neuroeducativa, por tanto, el estudio de la atención, la memoria y las funciones ejecutivas puede contribuir al diseño de experiencias de aprendizaje que exijan participación cognitiva activa. Actividades de resolución de problemas, planificación, recuperación de información, comparación, argumentación y reflexión sobre las propias estrategias pueden generar oportunidades para movilizar diferentes procesos ejecutivos. No obstante, su incorporación debe fundamentarse en objetivos curriculares concretos y no únicamente en la utilización de terminología neurocientífica.

Asimismo, la evidencia sobre neuroplasticidad sugiere que las experiencias repetidas pueden relacionarse con modificaciones en determinados indicadores cerebrales, especialmente durante etapas tempranas del desarrollo. Además, Tymofiyeva y Gaschler (2021) identificaron cambios asociados al entrenamiento en una proporción importante de los estudios revisados, pero también destacaron la heterogeneidad de las intervenciones y las limitaciones de numerosos diseños. Por ello, el vínculo entre práctica educativa, cambio cognitivo y modificación neural debe entenderse como una relación compleja y condicionada por múltiples variables.

Las implicaciones prácticas también varían según el nivel educativo. En educación primaria, la evidencia respalda la incorporación sistemática de tareas que impliquen memoria de trabajo, resolución de problemas, planificación y autorregulación dentro de actividades curriculares auténticas. En secundaria, estas funciones pueden integrarse mediante proyectos, argumentación, resolución de problemas complejos y actividades metacognitivas. En educación superior y formación profesional, el énfasis puede desplazarse hacia la planificación autónoma, la gestión de información y la toma estratégica de decisiones. En todos los niveles, la evidencia desaconseja utilizar ejercicios cognitivos descontextualizados como sustitutos del aprendizaje curricular (véase la Tabla 3).

**Tabla 3**

*Comparación de evidencias sobre procesos cognitivos y funciones ejecutivas*

| Muestra/evidencia | Resultado central | Convergencia | Divergencia o límite | Aplicación pedagógica |
|---|---|---|---|---|
| **Revisión sistemática y metanálisis de 299 estudios; 65.605 escolares.** | Se identificaron relaciones significativas entre las funciones ejecutivas y el desempeño en lectura, matemáticas y lenguaje. | Evidencia de la importancia transversal de las funciones ejecutivas para el aprendizaje académico. | La magnitud de las asociaciones varió según el componente ejecutivo y el dominio académico analizado. | Integrar planificación, memoria de trabajo y control cognitivo en actividades y tareas curriculares. |
| **Revisión sistemática y metanálisis sobre entrenamiento cognitivo.** | Se observaron mejoras principalmente en las tareas entrenadas y en medidas de transferencia cercana. | Evidencia de beneficios asociados con intervenciones cognitivas específicas. | No existe evidencia suficiente para sostener una transferencia amplia o lejana hacia capacidades cognitivas generales. | Evitar promesas de mejora cognitiva general y vincular el entrenamiento con objetivos educativos concretos. |
| **71 estudios de neuroimagen.** | Se identificaron cambios neurales asociados con diferentes experiencias de entrenamiento. | La experiencia y la práctica pueden relacionarse con procesos de plasticidad neural. | Limitaciones en las condiciones de control y elevada heterogeneidad metodológica restringen las inferencias causales. | Considerar la práctica sostenida dentro de experiencias educativas contextualizadas, sin atribuir causalidad directa a cambios neurales. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de la literatura revisada.

En síntesis, la evidencia revisada respalda la importancia de los procesos ejecutivos para el aprendizaje, pero también invita a evitar interpretaciones reduccionistas. La atención, la memoria y las funciones ejecutivas no funcionan de manera aislada; interactúan con las emociones, la motivación, los conocimientos previos y las características del contexto. Esta interdependencia constituye un argumento central para comprender el aprendizaje desde una perspectiva neuroeducativa integral.

### 3.3. Emoción, motivación y aprendizaje: interacción entre cognición y afectividad

La investigación educativa contemporánea ha cuestionado progresivamente la separación rígida entre cognición y emoción. Aprender implica no solamente procesar información, sino también interpretar las demandas de una tarea, valorar las propias posibilidades de éxito, experimentar determinados estados afectivos y regular el esfuerzo necesario para alcanzar objetivos. Desde esta perspectiva, las emociones constituyen una dimensión relevante de los procesos de aprendizaje y deben analizarse en relación con la motivación, la autorregulación y las características del entorno educativo.

En otro aporte científico, Zheng et al. (2023) realizaron una revisión crítica y metanálisis sobre las relaciones entre emociones académicas y aprendizaje autorregulado, integrando 23 estudios empíricos. Sus resultados muestran que las emociones pueden desempeñar funciones diferenciadas

dentro de los procesos de autorregulación y que su influencia no puede reducirse a una división simple entre emociones “positivas” y “negativas”. Los autores plantean que las emociones pueden actuar como antecedentes y componentes de los procesos mediante los cuales los estudiantes planifican, supervisan y ajustan su comportamiento durante el aprendizaje.

Este hallazgo complementa la evidencia cognitiva expuesta anteriormente, pues muestra que la autorregulación no puede explicarse exclusivamente mediante funciones ejecutivas. Mientras Spiegel et al. (2021) documentan relaciones entre procesos ejecutivos y resultados académicos, Zheng et al. (2023) evidencian que las experiencias emocionales participan en la manera en que los estudiantes regulan su actividad. La convergencia entre ambos trabajos favorece, por tanto, un modelo integrado en el que cognición y afectividad se consideran dimensiones interdependientes del aprendizaje.

Esta perspectiva resulta especialmente relevante porque permite comprender que una emoción determinada no produce necesariamente el mismo efecto en todas las situaciones. La ansiedad, por ejemplo, puede interferir con determinados procesos cognitivos cuando alcanza niveles elevados, mientras que otras formas de activación emocional pueden contribuir a mantener la atención o el esfuerzo. Del mismo modo, el disfrute y el interés pueden favorecer la implicación, aunque sus efectos dependen de la tarea, las características individuales y el contexto. Por esta razón, una interpretación científicamente rigurosa debe considerar la función de la emoción dentro de una situación concreta, en lugar de atribuir efectos universales a determinadas categorías emocionales (Zheng et al., 2023).

La relación entre dimensión emocional y resultados educativos también ha sido examinada mediante investigaciones de mayor escala. En este sentido, Cipriano et al. (2023), en una revisión sistemática y metanálisis de 424 estudios procedentes de 53 países, correspondientes a 252 intervenciones y 575.361 estudiantes, encontraron que las intervenciones universales de aprendizaje socioemocional se asociaron con mejoras en competencias, actitudes, comportamientos, relaciones entre pares, funcionamiento escolar y rendimiento académico. La amplitud de esta evidencia contrasta con estudios de menor escala y permite identificar una convergencia internacional considerable respecto de la relevancia del aprendizaje socioemocional; sin embargo, la heterogeneidad de programas y contextos impide asumir que todos los componentes produzcan efectos equivalentes.

La evidencia más reciente refuerza la relevancia de las emociones académicas. Es así como Xie et al. (2025) realizaron un metanálisis de tres niveles basado en investigaciones desarrolladas entre 2000 y 2024, incluyendo 120 estudios. Los autores encontraron asociaciones significativas entre emociones académicas positivas y rendimiento ($k = 76$; $N = 43.551$; $r = .24$; IC 95 % [.20, .27]) y entre emociones negativas y resultados de aprendizaje ($k = 78$; $N = 44.029$; $r = −.25$; IC 95 % [−.28, −.21]). Estos hallazgos aportan evidencia cuantitativa relevante, aunque no deben interpretarse como prueba de que las emociones por sí solas determinan el éxito académico, debido a la influencia simultánea de factores personales, pedagógicos y contextuales.

La comparación entre Cipriano et al. (2023), Zheng et al. (2023) y Xie et al. (2025) permite identificar una tendencia convergente: las variables socioemocionales se relacionan con la

participación, la autorregulación y diversos resultados educativos. No obstante, los tres trabajos operan en niveles analíticos diferentes: Cipriano et al. estudian intervenciones escolares, Zheng et al. examinan mecanismos emocionales asociados con autorregulación y Xie et al. sintetizan relaciones entre emociones académicas y resultados de aprendizaje. Por ello, sus resultados son complementarios, pero no intercambiables.

Desde el punto de vista educativo, estos resultados sugieren que la construcción de ambientes emocionalmente favorables puede formar parte de una estrategia más amplia de apoyo al aprendizaje. La seguridad, el sentido de pertenencia, la motivación y la posibilidad de desarrollar estrategias de autorregulación pueden favorecer la participación del estudiante. Sin embargo, el objetivo no debería consistir en mantener permanentemente emociones positivas, sino en proporcionar herramientas para reconocer, comprender y regular diferentes experiencias afectivas asociadas con las demandas escolares.

En educación inicial y primaria, las implicaciones se relacionan con la creación de ambientes seguros, relaciones positivas y enseñanza explícita de estrategias básicas de autorregulación. En secundaria, adquieren mayor relevancia la gestión de emociones académicas, la motivación y la autonomía ante tareas de creciente complejidad. En educación superior, el desarrollo de estrategias para gestionar frustración, presión académica y autorregulación puede contribuir a sostener la persistencia y la autonomía. Estas implicaciones deben entenderse como orientaciones compatibles con la evidencia revisada, no como efectos automáticos de determinadas prácticas.

En suma, la literatura revisada respalda una concepción integrada del aprendizaje en la que los procesos cognitivos y emocionales se encuentran estrechamente relacionados. Esta aproximación permite superar la falsa dicotomía entre “aprender” y “sentir” y plantea la necesidad de diseñar experiencias educativas que atiendan tanto las demandas intelectuales como las condiciones emocionales y motivacionales que acompañan al aprendizaje (véase la Tabla 4).

**Tabla 4**

*Síntesis comparativa de la evidencia sobre emoción, motivación y aprendizaje*

| Estudio | Alcance | Hallazgo principal | Convergencia | Diferencia principal | Implicación educativa |
|---|---|---|---|---|---|
| **Zheng et al. (2023)** | Revisión de 23 estudios. | Las emociones se relacionan con procesos de aprendizaje autorregulado. | Evidencia de una interacción dinámica entre emoción y cognición durante el aprendizaje. | Se centra principalmente en los mecanismos vinculados con la autorregulación. | Incorporar estrategias de reconocimiento, expresión y regulación emocional en los procesos de aprendizaje. |
| **Cipriano et al. (2023)** | Revisión de 424 estudios realizados en 53 países, con 575.361 estudiantes. | Se identificaron beneficios asociados con intervenciones universales de aprendizaje socioemocional. | Confirma la relevancia de la dimensión socioemocional para los procesos educativos. | Analiza principalmente intervenciones socioemocionales implementadas en contextos escolares. | Integrar el aprendizaje socioemocional en programas educativos estructurados y sistemáticos. |
| **Xie et al. (2025)** | Revisión de 120 estudios publicados entre 2000 y 2024. | Las emociones positivas mostraron asociaciones favorables y las emociones negativas asociaciones desfavorables con diversos resultados educativos. | Coincide en señalar una relación consistente entre las experiencias emocionales y los resultados del aprendizaje. | Examina principalmente asociaciones entre variables, sin establecer efectos causales derivados de una intervención específica. | Evitar interpretaciones deterministas y considerar el contexto educativo y las características individuales del alumnado. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de los estudios revisados.

### 3.4. Implicaciones de la neuroeducación para la práctica pedagógica

La incorporación de conocimientos neurocientíficos en educación plantea oportunidades para revisar determinadas prácticas pedagógicas, pero también exige establecer límites claros respecto de aquello que la evidencia permite afirmar. El principal desafío consiste en traducir conocimientos procedentes de investigaciones neurocientíficas a situaciones educativas sin eliminar la complejidad de los contextos escolares. En este sentido, la neuroeducación debe funcionar como un espacio de articulación y no como un mecanismo de sustitución de los saberes pedagógicos (Pradeep et al., 2024).

La neuroplasticidad constituye uno de los fundamentos que permite valorar la importancia de las experiencias de aprendizaje. La revisión de Tymofiyeva y Gaschler (2021) documentó cambios estructurales y funcionales asociados con diferentes tipos de entrenamiento en niños y adolescentes, aunque también mostró que una parte considerable de las investigaciones presentaba limitaciones metodológicas. Desde una perspectiva pedagógica, estos resultados permiten sostener la relevancia de la experiencia y la práctica, pero no justifican afirmar que cualquier intervención educativa produzca modificaciones cerebrales beneficiosas.

La evidencia relacionada con las funciones ejecutivas proporciona otro punto de conexión con la práctica educativa. El metanálisis de Spiegel et al. (2021) evidenció relaciones significativas

entre memoria de trabajo, control inhibitorio, flexibilidad cognitiva y resultados académicos. Estos hallazgos permiten considerar la planificación, el control cognitivo, la resolución de problemas y la autorregulación como dimensiones relevantes dentro de experiencias pedagógicas orientadas al aprendizaje profundo.

Desde esta perspectiva, las actividades educativas pueden diseñarse para exigir al estudiante algo más que la reproducción de información. La formulación de problemas, la recuperación de conocimientos, la comparación de alternativas, la explicación de procedimientos, la planificación de tareas y la evaluación de estrategias pueden generar oportunidades para movilizar procesos cognitivos complejos. No obstante, estas propuestas deben responder a propósitos curriculares específicos y no presentarse como ejercicios universales capaces de mejorar indiscriminadamente todas las capacidades cognitivas.

La dimensión socioemocional constituye igualmente un componente susceptible de integración pedagógica. La evidencia sintetizada por Cipriano et al. (2023) indica que los programas escolares de aprendizaje socioemocional pueden producir beneficios en competencias, comportamiento, relaciones y rendimiento académico, aunque sus resultados dependen de características específicas de las intervenciones y de las condiciones de implementación. Esta consideración es fundamental para evitar que la educación socioemocional sea presentada como una estrategia homogénea cuyos efectos serían idénticos independientemente del contexto.

A partir de la comparación de los estudios revisados, las implicaciones prácticas pueden organizarse en cuatro principios: (a) contextualización curricular de las actividades cognitivas; (b) integración de estrategias de autorregulación y metacognición; (c) creación de condiciones socioemocionales favorables para la participación; y (d) interpretación crítica de la evidencia neurocientífica antes de trasladarla al aula. Estos principios permiten vincular los hallazgos científicos con decisiones pedagógicas concretas sin convertir correlaciones o resultados experimentales en prescripciones universales.

En consecuencia, una práctica pedagógica informada por la neuroeducación debería priorizar ambientes que favorezcan la participación, la regulación emocional, la interacción social, la reflexión metacognitiva y la construcción progresiva del conocimiento. Tales principios no deben entenderse como “técnicas neuronales”, sino como componentes de prácticas educativas que encuentran respaldo en diferentes campos de investigación. La contribución de la neuroeducación consiste en aportar una comprensión adicional de los mecanismos que pueden participar en estos procesos.

Por otra parte, la formación científica del profesorado constituye una condición necesaria para que estos conocimientos sean incorporados responsablemente. Rousseau (2024) destaca la utilidad potencial de programas de desarrollo profesional que combinen fundamentos de neurociencia con estrategias explícitas para identificar y cuestionar neuromitos. El propósito no debería ser convertir al docente en especialista en neurociencia, sino desarrollar competencias que le permitan interpretar críticamente la evidencia y distinguir entre resultados científicos, hipótesis y afirmaciones sin respaldo suficiente.

En términos de aplicación por niveles, en educación inicial y primaria se recomienda priorizar experiencias de aprendizaje activas, repetición significativa, interacción social, desarrollo progresivo de funciones ejecutivas y regulación emocional. En secundaria, la evidencia resulta especialmente pertinente para tareas de mayor complejidad cognitiva, autorregulación, resolución de problemas y gestión de emociones académicas. En educación superior y formación docente, el énfasis debería situarse en la autonomía, la metacognición, la evaluación crítica de fuentes científicas y la transferencia responsable del conocimiento hacia la práctica profesional.

Esta diferenciación evita asumir que un mismo principio neuroeducativo posee idéntica expresión pedagógica en todas las etapas del desarrollo. La utilidad de la evidencia depende de la edad, las características del alumnado, el objetivo curricular, el tipo de intervención y las condiciones institucionales de implementación.

Por tanto, las implicaciones pedagógicas de la neuroeducación deben comprenderse en términos de principios fundamentados en evidencia y no de recetas metodológicas. Esta distinción resulta esencial para evitar una aplicación superficial del conocimiento neurocientífico y, simultáneamente, aprovechar sus contribuciones para enriquecer la comprensión de los procesos de enseñanza y aprendizaje (véase la Tabla 5).

**Tabla 5**

*Implicaciones prácticas de la evidencia neuroeducativa según nivel educativo*

| Nivel educativo | Procesos priorizados | Orientaciones pedagógicas compatibles con la evidencia | Precaución científica |
|---|---|---|---|
| **Educación inicial** | Atención, regulación emocional, memoria emergente e interacción social. | Juego estructurado, interacción, rutinas, exploración, desarrollo del lenguaje y actividades multisensoriales contextualizadas. | Evitar atribuir efectos cerebrales específicos a una técnica pedagógica aislada. |
| **Educación primaria** | Memoria de trabajo, funciones ejecutivas y autorregulación. | Resolución de problemas, recuperación de información, planificación, explicación de estrategias y aprendizaje cooperativo. | No asumir que los entrenamientos cognitivos producen una transferencia general hacia otros dominios. |
| **Educación secundaria** | Flexibilidad cognitiva, autorregulación y emociones académicas. | Proyectos, argumentación, resolución de problemas, metacognición y estrategias de regulación emocional. | Considerar las diferencias individuales, las características del contexto y las condiciones de aprendizaje. |
| **Educación superior** | Autonomía, metacognición, regulación emocional y toma de decisiones. | Aprendizaje basado en problemas, reflexión crítica, gestión estratégica de información y evaluación de evidencias. | Evitar trasladar directamente resultados experimentales a recomendaciones pedagógicas universales. |
| **Formación docente** | Alfabetización neurocientífica, pensamiento crítico y evaluación de evidencia. | Análisis de investigaciones, identificación de neuromitos y valoración de la calidad metodológica de las fuentes científicas. | Diferenciar evidencia empírica, hipótesis, asociaciones correlacionales e inferencias causales. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de la síntesis de los estudios revisados.

### 3.5. Limitaciones, neuromitos y desafíos para una neuroeducación basada en evidencia

El crecimiento de la neuroeducación no está exento de dificultades. Una de las principales corresponde a la distancia existente entre las condiciones controladas de determinadas investigaciones neurocientíficas y la complejidad de los ambientes educativos. El aula constituye un escenario en el que interactúan múltiples variables de manera simultánea, por lo que los resultados obtenidos mediante diseños experimentales específicos no siempre pueden trasladarse directamente a recomendaciones pedagógicas generales. Esta consideración constituye una de las razones por las cuales la neuroeducación requiere un enfoque interdisciplinario y metodológicamente prudente (Pradeep et al., 2024).

Las limitaciones metodológicas también aparecen en la investigación sobre neuroplasticidad. Es así como Tymofiyeva y Gaschler (2021) observaron que, aunque una proporción importante de los estudios revisados encontró modificaciones neuronales posteriores al entrenamiento, solo el 48 % de las investigaciones incorporó una condición de control y existió una considerable heterogeneidad en población, duración del entrenamiento, tipo de intervención y técnica de neuroimagen. Estas características dificultan establecer conclusiones generales sobre la relación entre una determinada intervención y un cambio cerebral específico.

A esta dificultad se suma la persistencia de neuromitos en los contextos educativos. Torrijos-Muelas et al. (2021) evidenciaron, mediante una revisión sistemática, que determinadas concepciones erróneas sobre el cerebro y el aprendizaje continúan presentes entre profesionales de la educación y futuros docentes. La importancia de este fenómeno no reside únicamente en la existencia de conocimientos incorrectos, sino en la posibilidad de que dichas creencias influyan en decisiones pedagógicas y en la aceptación de determinadas prácticas por el simple hecho de presentarse como científicamente fundamentadas.

La persistencia de estas concepciones demuestra que poseer información general sobre neurociencia no garantiza necesariamente una adecuada interpretación de sus aplicaciones educativas. Es por eso por lo que Rousseau (2024) sostiene que los esfuerzos destinados a reducir neuromitos requieren intervenciones formativas específicas y revisa estrategias como la refutación de afirmaciones incorrectas, la formación en conceptos fundamentales de neurociencia y la reflexión sobre principios científicos relacionados con el aprendizaje.

Otro desafío está relacionado con la propia medición del conocimiento neurocientífico y de las creencias docentes. Las investigaciones sobre neuromitos han utilizado instrumentos diversos, lo que puede generar diferencias en la estimación de su prevalencia. Esta situación obliga a interpretar con cautela los porcentajes reportados en diferentes estudios y a considerar cómo fueron construidos los instrumentos, qué afirmaciones fueron utilizadas y qué población participó en la investigación.

De manera transversal, la comparación de las fuentes revisadas permite identificar cuatro desafíos principales: la heterogeneidad de los diseños de investigación, la dificultad para establecer causalidad, la transferencia limitada desde resultados experimentales hacia contextos educativos reales y la persistencia de interpretaciones pseudocientíficas o simplificadas. Estos desafíos no

invalidan la contribución de la neuroeducación; por el contrario, delimitan las condiciones bajo las cuales sus aportes pueden utilizarse con rigor.

La superación de estas limitaciones requiere fortalecer la alfabetización científica del profesorado y promover mecanismos de comunicación más efectivos entre investigadores y profesionales de la educación. Una formación pertinente debería permitir al docente distinguir entre evidencia correlacional y causal, valorar la calidad metodológica de una investigación, reconocer las limitaciones de una muestra y comprender que un resultado neurocientífico no constituye por sí mismo una estrategia pedagógica.

Asimismo, resulta necesario fomentar investigaciones interdisciplinarias que integren métodos y conocimientos provenientes de la neurociencia, la psicología y las ciencias de la educación. La revisión de Pradeep et al. (2024) evidencia precisamente el carácter interdisciplinario de la neuroeducación y la necesidad de comprender las dinámicas neuronales en relación con los procesos de enseñanza y aprendizaje. La articulación entre estos campos puede contribuir a desarrollar estudios con mayor validez ecológica y con resultados más relevantes para los problemas educativos concretos.

En este sentido, una agenda de investigación futura debería priorizar estudios longitudinales y diseños con condiciones de comparación adecuadas, muestras suficientemente caracterizadas, instrumentos psicométricamente sólidos y medidas educativas además de indicadores neurobiológicos. También resulta pertinente incrementar la investigación desarrollada en contextos escolares reales, debido a que la validez ecológica constituye un componente necesario para determinar la utilidad pedagógica de los hallazgos neurocientíficos. La consolidación de una neuroeducación basada en evidencia exige tanto la revisión crítica de las creencias sobre el funcionamiento cerebral como la evaluación rigurosa de las intervenciones cognitivas.

Ferreira y Rodríguez (2022) y Ruiz-Martín et al. (2022) documentaron la persistencia de neuromitos entre docentes y los efectos favorables de intervenciones formativas para reducir estas concepciones erróneas, aunque con diferencias en la magnitud de los resultados. En el ámbito cognitivo, Liu et al. (2023) identificaron efectos de entrenamiento y transferencia asimétrica entre la memoria de trabajo y el control inhibitorio, mientras que Hrysanidis et al. (2026) no encontraron ventajas de diversificar las actividades de entrenamiento de la memoria de trabajo frente a una condición de control activo. En conjunto, estos hallazgos subrayan la necesidad de fundamentar las decisiones pedagógicas en resultados empíricos específicos, sin extrapolar automáticamente los efectos del entrenamiento cognitivo a mejoras generalizadas del aprendizaje.

En la misma línea investigativa, en el contexto ecuatoriano, Zambrano et al. (2025) estudiaron la prevalencia de mitos educativos entre docentes, aportando evidencia contextual para examinar la persistencia de creencias pedagógicas sin suficiente sustento científico y la necesidad de fortalecer la alfabetización científica del profesorado.

La síntesis comparativa evidencia, por tanto, que el principal vacío no consiste en la ausencia de investigaciones sobre cerebro y aprendizaje, sino en la necesidad de fortalecer el vínculo metodológico entre tres niveles de análisis: mecanismos neurobiológicos, procesos psicológicos

y resultados educativos. La investigación futura debería avanzar hacia diseños capaces de examinar estos niveles de manera articulada, evitando tanto el reduccionismo biológico como la extrapolación pedagógica injustificada (véase la Tabla 6).

**Tabla 6**

*Limitaciones, vacíos y líneas de investigación futura*

| Dimensión | Problema identificado | Evidencia revisada | Vacío científico | Línea futura |
|---|---|---|---|---|
| **Neuroplasticidad** | Heterogeneidad metodológica y limitada presencia de condiciones de control. | Tymofiyeva y Gaschler (2021); Weyandt et al. (2020). | Dificultad para establecer relaciones causales entre experiencias educativas y cambios neurobiológicos. | Desarrollar estudios longitudinales, controlados y con procedimientos metodológicos estandarizados. |
| **Funciones ejecutivas** | Las relaciones con el rendimiento varían según el dominio académico. | Spiegel et al. (2021). | Necesidad de identificar variables moderadoras de las asociaciones observadas. | Realizar estudios diferenciados por edad, dominio curricular y características de las tareas. |
| **Transferencia cognitiva** | Evidencia limitada de transferencia hacia habilidades no entrenadas directamente. | Pappa et al. (2020). | Escasa generalización de los beneficios entre diferentes habilidades cognitivas y académicas. | Diseñar intervenciones integradas con objetivos curriculares explícitos y evaluar transferencia próxima y lejana. |
| **Emoción y aprendizaje** | Heterogeneidad en los mecanismos analizados y en las intervenciones estudiadas. | Zheng et al. (2023); Cipriano et al. (2023); Xie et al. (2025). | Necesidad de diferenciar mecanismos emocionales, efectos contextuales y condiciones individuales. | Implementar diseños longitudinales y análisis multinivel que permitan examinar interacciones entre variables. |
| **Neuromitos** | Persistencia de concepciones educativas sin suficiente respaldo científico. | Torrijos-Muelas et al. (2021); Rousseau (2024). | Variabilidad en instrumentos de evaluación y modalidades de formación docente. | Desarrollar y evaluar rigurosamente programas de alfabetización científica y neuroeducativa. |
| **Transferencia ciencia-práctica** | Persistencia de una distancia entre la evidencia experimental y su aplicación en el aula. | Pradeep et al. (2024). | Baja integración interdisciplinaria entre producción científica y práctica educativa. | Promover investigaciones colaborativas entre neurociencia, psicología y educación, con participación del profesorado. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de la integración comparativa de la literatura revisada.

En definitiva, el futuro de la neuroeducación dependerá menos de la proliferación de propuestas pedagógicas que incorporen terminología neurocientífica y más de la capacidad de construir un diálogo riguroso entre investigación y práctica. Una neuroeducación científicamente responsable debe reconocer las posibilidades de la evidencia sobre el cerebro, pero también sus límites, evitando

reduccionismos, neuromitos y extrapolaciones injustificadas. La evidencia examinada permite sostener que su contribución potencial es mayor cuando los hallazgos neurocientíficos se interpretan juntamente con la evidencia psicológica, pedagógica y contextual. De este modo, la neuroeducación puede contribuir a fundamentar decisiones educativas informadas sin presentarse como una fuente autónoma de recetas metodológicas.

En conjunto, los estudios revisados muestran una convergencia sustantiva en torno a la naturaleza multidimensional del aprendizaje: la plasticidad cerebral proporciona un marco biológico, las funciones ejecutivas permiten comprender procesos cognitivos asociados con el desempeño, y las emociones y la autorregulación explican dimensiones afectivas y motivacionales. Sin embargo, también se identifican límites recurrentes heterogeneidad metodológica, problemas de causalidad, transferencia restringida y persistencia de neuromitos que obligan a interpretar la evidencia con prudencia. Por ello, la principal implicación para la práctica pedagógica no consiste en adoptar metodologías "neuroeducativas" específicas, sino en fortalecer prácticas contextualizadas, cognitivamente activas, emocionalmente sensibles y sustentadas en evidencia científica de calidad.

## 4. Discusión

### 4.1. La neuroeducación como campo interdisciplinario: convergencias y controversias teóricas

Los hallazgos derivados de la revisión de la literatura permiten reconocer que la neuroeducación se configura como un campo interdisciplinario con importantes posibilidades para ampliar la comprensión de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Su principal fortaleza radica en la posibilidad de articular conocimientos procedentes de la neurociencia, la psicología cognitiva y las ciencias de la educación, favoreciendo una interpretación multidimensional del aprendizaje. No obstante, la evidencia examinada también pone de manifiesto que esta articulación debe realizarse bajo criterios de rigurosidad científica, evitando trasladar de manera directa resultados neurocientíficos hacia recomendaciones pedagógicas que no hayan sido suficientemente validadas. En este sentido, la neuroeducación adquiere mayor relevancia cuando contribuye a complementar los fundamentos pedagógicos existentes, en lugar de pretender reemplazarlos (Pradeep et al., 2024).

Sin embargo, el carácter interdisciplinario de la neuroeducación no implica que exista un consenso absoluto acerca de sus fundamentos, métodos y posibilidades de aplicación. Una de las principales controversias teóricas del campo se relaciona con el alcance explicativo de los conocimientos neurobiológicos y su relación con las explicaciones psicológicas, pedagógicas y socioculturales del aprendizaje. Mientras que la neurociencia permite investigar mecanismos cerebrales asociados con la atención, la memoria, la emoción y el desarrollo, las ciencias de la educación examinan procesos que también dependen de la interacción docente-estudiante, los conocimientos previos, el currículo, las condiciones institucionales y las oportunidades socioculturales. Por tanto, aunque estos niveles de análisis pueden complementarse, no son

intercambiables ni permiten establecer automáticamente relaciones causales entre los mecanismos cerebrales y los resultados educativos.

Esta controversia pone de manifiesto la necesidad de distinguir entre una perspectiva interdisciplinaria y una interpretación reduccionista del aprendizaje. La primera reconoce que los procesos neurobiológicos forman parte de las condiciones que hacen posible aprender, pero sostiene que su comprensión requiere integrar factores cognitivos, emocionales, sociales y pedagógicos. La segunda corre el riesgo de interpretar los fenómenos educativos exclusivamente a partir de mecanismos cerebrales, dejando en segundo plano las condiciones concretas en las que se desarrolla la enseñanza. En consecuencia, una explicación neurobiológica puede contribuir a comprender un proceso cognitivo sin ser suficiente para determinar qué metodología docente resulta más efectiva, en qué contexto debe utilizarse o qué resultados académicos cabe esperar.

La comparación transversal de los estudios revisados permite identificar una convergencia fundamental: el aprendizaje constituye un fenómeno multidimensional en el que interactúan mecanismos neurobiológicos, procesos cognitivos, estados emocionales y condiciones contextuales. Sin embargo, esta convergencia conceptual no supone homogeneidad metodológica ni permite asumir que la evidencia procedente de un nivel de análisis pueda trasladarse directamente a otro. Precisamente, una de las principales contribuciones de la presente revisión consiste en mostrar que la distancia entre la identificación de mecanismos asociados al aprendizaje y la formulación de prácticas pedagógicas constituye uno de los problemas centrales que todavía requiere mayor investigación.

A esta cuestión se añade una discrepancia conceptual relacionada con la definición de neuroeducación. En la literatura especializada, el término puede referirse a la aplicación de conocimientos neurocientíficos en contextos educativos, al estudio interdisciplinario de las relaciones entre cerebro y aprendizaje o al diseño de propuestas pedagógicas fundamentadas en la integración de neurociencia, psicología cognitiva y educación. Estas acepciones pueden conducir a diferentes criterios de selección e interpretación de las investigaciones. Por ejemplo, un estudio de neuroimagen que analiza la activación cerebral durante una tarea cognitiva no responde a la misma pregunta que un ensayo experimental destinado a evaluar una intervención didáctica. Ambos pueden contribuir al conocimiento educativo, pero difieren en sus objetivos, unidades de análisis y posibilidades de aplicación.

Por consiguiente, el análisis crítico de la neuroeducación debe considerar no solamente si diferentes investigaciones presentan resultados coincidentes, sino también si estudian constructos equivalentes, utilizan medidas comparables y permiten sostener conclusiones de alcance semejante. Esta distinción es indispensable para evitar que la acumulación de estudios relacionados temáticamente se interprete como evidencia uniforme de eficacia pedagógica. La fortaleza de una síntesis interdisciplinaria depende, en cambio, de su capacidad para identificar acuerdos, discrepancias y límites de generalización, así como de establecer qué conclusiones se encuentran suficientemente respaldadas y cuáles requieren nuevas investigaciones.

### 4.2. Neuroplasticidad: posibilidades biológicas y límites de la transferencia educativa

Uno de los aspectos que mayor interés ha generado dentro de este campo corresponde a la neuroplasticidad. La evidencia sintetizada por Tymofiyeva y Gaschler (2021) muestra que determinadas experiencias de entrenamiento pueden relacionarse con modificaciones en la actividad, estructura, microestructura y conectividad cerebral. De manera concordante, Weyandt et al. (2020) identificaron resultados compatibles con procesos neuroplásticos asociados con intervenciones cognitivas y sensoriomotoras durante la infancia y la adolescencia. Sin embargo, ambos aportes evidencian una cuestión fundamental: la presencia de cambios neurobiológicos no permite establecer, por sí misma, que una determinada intervención educativa sea responsable de una mejora generalizada del aprendizaje.

La convergencia entre ambos estudios proporciona evidencia sobre la capacidad de adaptación del sistema nervioso frente a determinadas experiencias, pero también revela una primera limitación del conocimiento disponible: la existencia de modificaciones neurobiológicas no equivale necesariamente a la demostración de efectos educativos transferibles. Tymofiyeva y Gaschler (2021) y Weyandt et al. (2020) difieren en poblaciones, intervenciones, procedimientos de neuroimagen y características metodológicas, por lo que sus resultados deben interpretarse como evidencia complementaria y no como demostraciones equivalentes de eficacia pedagógica. Esta distinción resulta esencial para evitar una interpretación lineal según la cual cualquier cambio cerebral implica automáticamente una mejora educativa.

Desde una perspectiva crítica, la controversia no se encuentra en reconocer la neuroplasticidad como una propiedad del sistema nervioso, sino en determinar qué conclusiones pueden derivarse de ella. La capacidad de adaptación cerebral no demuestra que todas las experiencias educativas produzcan modificaciones beneficiosas, que los cambios tengan la misma magnitud en todas las personas o que se traduzcan necesariamente en mejoras académicas. El significado funcional de una modificación neurobiológica depende de las características de la tarea, el momento del desarrollo, la experiencia previa, las condiciones de intervención y los resultados utilizados para evaluar el aprendizaje.

Esta consideración resulta especialmente importante desde el ámbito pedagógico. La neuroplasticidad demuestra que el sistema nervioso posee capacidad de adaptación frente a la experiencia, pero no implica que cualquier experiencia educativa genere modificaciones cerebrales favorables ni que todo cambio cerebral tenga necesariamente una repercusión académica significativa. Las diferencias entre las muestras, los tipos de intervención, la duración de los entrenamientos y las técnicas utilizadas para evaluar los cambios neurobiológicos dificultan la formulación de conclusiones universales (Tymofiyeva & Gaschler, 2021). En consecuencia, la neuroplasticidad debe ser entendida como un fundamento biológico que ayuda a explicar la posibilidad del aprendizaje, pero no como una justificación suficiente para validar una metodología educativa determinada.

Asimismo, resulta necesario diferenciar entre las modificaciones observadas durante una intervención, la persistencia de dichos cambios después de su finalización y su posible relación con competencias académicas. Una variación en la actividad cerebral puede indicar una respuesta

diferente ante una tarea, pero no demuestra necesariamente que el estudiante haya adquirido conocimientos curriculares más sólidos. De igual manera, una mejora en una prueba cognitiva no garantiza una transferencia hacia otras habilidades. Para establecer estas relaciones se requieren evaluaciones convergentes, grupos de comparación adecuados y seguimientos que permitan determinar la estabilidad y la relevancia funcional de los resultados.

Desde esta perspectiva, emerge un primer vacío de investigación: todavía resulta insuficiente la evidencia que conecte de manera longitudinal y metodológicamente robusta los cambios neurobiológicos con resultados educativos concretos y sostenidos en ambientes escolares reales. La literatura disponible proporciona información relevante sobre mecanismos y asociaciones, pero son menos frecuentes los diseños capaces de determinar cómo, cuándo y en qué condiciones una modificación neurobiológica se relaciona con cambios funcionales que tengan relevancia curricular. Este vacío limita la posibilidad de convertir hallazgos neurocientíficos en recomendaciones pedagógicas generalizables.

En consecuencia, las investigaciones futuras deberían integrar indicadores neurobiológicos, medidas cognitivas y evaluaciones curriculares, de manera que sea posible examinar si los cambios identificados en un nivel de análisis se relacionan de forma consistente con resultados observables en otros niveles. Esta aproximación permitiría distinguir entre mecanismos biológicos asociados con el aprendizaje, mejoras cognitivas específicas y beneficios educativos demostrados, evitando atribuir a la neuroplasticidad implicaciones pedagógicas que todavía no cuentan con suficiente respaldo empírico.

### 4.3. Transferencia cognitiva y entrenamiento de la memoria de trabajo: resultados convergentes y contradictorios

La transferencia de los resultados de la investigación neurocientífica hacia la práctica educativa constituye otro aspecto central de la discusión. El hecho de que una intervención produzca mejoras en una capacidad específica no significa necesariamente que dichos beneficios se extiendan a otras habilidades o al rendimiento académico en general. Esta problemática es particularmente evidente en el ámbito del entrenamiento de la memoria de trabajo. Pappa et al. (2020) encontraron resultados favorables en determinados indicadores cognitivos y neuronales, pero señalaron que la generalización de los beneficios hacia habilidades diferentes de aquellas directamente entrenadas continúa siendo objeto de debate.

La controversia sobre la transferencia cognitiva representa una de las discrepancias empíricas más relevantes para la neuroeducación. Habitualmente se distingue entre transferencia cercana, que alude a la mejora en tareas semejantes a las practicadas, y transferencia lejana, que se refiere a la generalización hacia habilidades o resultados que difieren sustancialmente de las actividades entrenadas. Esta distinción es fundamental porque una intervención puede mejorar el desempeño en una tarea específica sin producir beneficios equivalentes en comprensión lectora, razonamiento matemático, atención cotidiana o rendimiento académico global. En consecuencia, la eficacia de un programa no debería establecerse únicamente a partir de las mejoras obtenidas en las actividades

que lo componen, sino también mediante medidas externas que permitan comprobar si se alcanzan los objetivos educativos esperados.

Una primera evidencia empírica que permite profundizar en esta controversia procede de Vernucci et al. (2023), quienes realizaron un ensayo aleatorizado con 89 niños de entre 9 y 10 años para examinar los efectos de un entrenamiento de memoria de trabajo sobre diferentes capacidades cognitivas y académicas. Los resultados mostraron mejoras en determinadas medidas cognitivas y efectos que se mantuvieron en el seguimiento. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse en función de las habilidades evaluadas y de las características específicas de la intervención, sin asumir que el entrenamiento produce necesariamente mejoras generalizadas en todos los dominios académicos.

En una línea complementaria, Liu et al. (2023) estudiaron los efectos del entrenamiento de memoria de trabajo y del control inhibitorio en 60 escolares de entre 8 y 10 años. Su investigación permitió examinar si el entrenamiento de procesos ejecutivos diferentes generaba patrones equivalentes de transferencia. La comparación de los resultados evidencia que las ganancias cognitivas no necesariamente se generalizan de la misma manera entre tareas y funciones ejecutivas. Por ello, la eficacia de una intervención debe analizarse considerando tanto la habilidad entrenada como las medidas de transferencia y la persistencia de los resultados. Esta evidencia cuestiona la idea de que las intervenciones dirigidas a distintas funciones ejecutivas sean intercambiables o produzcan beneficios académicos equivalentes.

Una aportación especialmente importante y reciente corresponde al ensayo aleatorizado de Hrysanidis et al. (2026), que evaluó diferentes modalidades de entrenamiento de memoria de trabajo con actividades variadas en 197 escolares australianos de entre 7 y 11 años. Los investigadores compararon programas que incorporaban dos, cuatro o seis actividades con una condición de control activo. Las intervenciones se desarrollaron en el contexto escolar mediante actividades integradas en Minecraft Education Edition durante dos semanas. Las medidas de resultado incluyeron memoria de trabajo, razonamiento y falta de atención, evaluadas antes de la intervención, inmediatamente después y a los tres meses. Los resultados no mostraron ventajas significativas de ninguna de las condiciones de entrenamiento frente al control activo, ni en la evaluación inmediata ni en el seguimiento.

Este hallazgo constituye una discrepancia relevante respecto de las investigaciones que han identificado beneficios en determinadas intervenciones de entrenamiento cognitivo. En particular, cuestiona la suposición de que aumentar la variedad de actividades practicadas maximiza necesariamente los beneficios del entrenamiento. Aunque la diversificación puede resultar atractiva desde el punto de vista didáctico, su incorporación no garantiza mejoras cognitivas transferibles. La comparación con Vernucci et al. (2023) y Liu et al. (2023) permite reconocer que los efectos dependen de las características de los programas, las condiciones de comparación, las medidas utilizadas y las poblaciones estudiadas. Por tanto, los resultados favorables y nulos deben interpretarse conjuntamente, sin privilegiar únicamente aquellos que confirman expectativas previas.

La relevancia de Hrysanidis et al. (2026) reside, además, en que su estudio empleó una condición de control activo y realizó una evaluación de seguimiento. Estas características permiten examinar los beneficios específicos del entrenamiento más allá de los posibles efectos de participar en una actividad novedosa o recibir atención adicional. Sin embargo, los resultados no demuestran que todas las formas de entrenamiento cognitivo sean ineficaces; indican, de manera más delimitada, que las modalidades estudiadas no superaron al control activo en las medidas evaluadas. Esta distinción es esencial para evitar que un resultado nulo se convierta en una conclusión general sobre todo el campo.

La comparación entre estos estudios permite identificar una controversia central: mientras algunas investigaciones muestran mejoras en determinadas capacidades cognitivas, otras no encuentran ventajas adicionales frente a condiciones de comparación apropiadas. Esta divergencia puede estar relacionada con la duración y la intensidad de las intervenciones, la selección de los participantes, la naturaleza de las tareas, la sensibilidad de los instrumentos o el grado de similitud entre el entrenamiento y las pruebas de evaluación. También puede indicar que algunos beneficios son específicos de las tareas practicadas y no se generalizan de forma consistente a otras competencias. Por consiguiente, no es metodológicamente adecuado interpretar todos los resultados favorables como prueba de transferencia generalizada ni considerar todos los resultados nulos como demostración de ausencia absoluta de efectos.

La evidencia sobre transferencia cognitiva permite identificar una segunda brecha relevante. Aunque determinadas intervenciones pueden producir mejoras en habilidades próximas a las entrenadas, existe menor certeza respecto de la transferencia lejana hacia competencias académicas amplias. Este resultado cuestiona las aproximaciones educativas que presentan el entrenamiento cognitivo como una intervención capaz de generar beneficios generales independientemente del contenido curricular.

Desde una perspectiva pedagógica, esta controversia sugiere que las actividades de entrenamiento deben contrastarse con estrategias de enseñanza vinculadas directamente con los objetivos curriculares. Si el propósito consiste en mejorar la comprensión lectora, es necesario medir la comprensión de textos; si se pretende fortalecer el razonamiento matemático, deben evaluarse tareas y aprendizajes matemáticos. De esta manera, la investigación puede determinar si el entrenamiento cognitivo aporta beneficios adicionales a los que se obtienen mediante prácticas pedagógicas específicas y si dichos beneficios justifican su incorporación al currículo.

Por tanto, la transferencia debe considerarse un criterio central para valorar las aplicaciones educativas de la neurociencia cognitiva. Las futuras investigaciones deberían comparar distintas modalidades de intervención, emplear controles activos, incluir seguimientos longitudinales y utilizar resultados curriculares definidos previamente. Asimismo, conviene examinar la relación entre el tiempo invertido en el entrenamiento y los beneficios obtenidos, dado que una intervención que consume tiempo de enseñanza debe demostrar una contribución educativa suficientemente relevante para justificar su implementación.

### 4.4. Funciones ejecutivas: relevancia cognitiva y límites de la generalización

En este marco, las funciones ejecutivas representan un segundo eje de especial relevancia. Los resultados sintetizados por Spiegel et al. (2021), a partir de un amplio conjunto de investigaciones, evidencian relaciones entre memoria de trabajo, control inhibitorio, flexibilidad cognitiva y diferentes resultados académicos. Esta asociación permite comprender que el aprendizaje escolar requiere algo más que la adquisición y acumulación de información. El estudiante necesita mantener determinados contenidos activos, seleccionar información pertinente, controlar respuestas automáticas, modificar estrategias y sostener metas durante la resolución de tareas.

No obstante, la relación entre las funciones ejecutivas y el rendimiento académico no debe interpretarse como una correspondencia simple entre una capacidad cognitiva y el éxito escolar. La contribución de estas funciones depende de las demandas de la tarea, los conocimientos previos, las estrategias de resolución, la motivación y las oportunidades de aprendizaje. Además, las funciones ejecutivas se evalúan mediante tareas que pueden implicar simultáneamente atención, velocidad de procesamiento, comprensión verbal y familiaridad con los procedimientos. Estas diferencias de operacionalización pueden contribuir a explicar por qué las investigaciones no siempre producen resultados equivalentes.

La asociación entre funciones ejecutivas y desempeño académico debe interpretarse dentro de un sistema de relaciones más amplio. La evidencia sintetizada no permite establecer que el desarrollo de una función ejecutiva específica sea, por sí mismo, suficiente para explicar el rendimiento escolar. El desempeño también está condicionado por conocimientos previos, oportunidades de aprendizaje, características de las tareas, prácticas docentes, motivación, emociones y condiciones socioculturales.

Esta consideración adquiere especial importancia al examinar las intervenciones de entrenamiento cognitivo. La mejora en una medida de memoria de trabajo no demuestra necesariamente que se hayan fortalecido de manera general las funciones ejecutivas ni que el estudiante pueda utilizar esa mejora en cualquier situación de aprendizaje. Como muestran las diferencias entre los resultados de Vernucci et al. (2023), Liu et al. (2023) y Hrysanidis et al. (2026), los beneficios pueden variar según la función entrenada, la tarea evaluada y las condiciones de comparación. En consecuencia, es necesario diferenciar entre la mejora en una habilidad específica, la transferencia a procesos relacionados y el efecto sobre el desempeño académico.

La importancia de estas funciones no debería conducir a una interpretación reduccionista del rendimiento académico. Las capacidades ejecutivas interactúan permanentemente con los conocimientos previos, la motivación, las emociones, las características de las tareas y las condiciones del contexto. En consecuencia, no sería adecuado considerar que las dificultades académicas pueden explicarse exclusivamente por un déficit en alguna función ejecutiva.

La investigación futura debería examinar qué variables moderan la relación entre funciones ejecutivas y aprendizaje, así como las condiciones bajo las cuales una intervención produce beneficios funcionales. Los estudios longitudinales pueden contribuir a comprender la evolución de

estas capacidades durante el desarrollo; los ensayos experimentales permiten contrastar intervenciones específicas; y los estudios realizados en contextos escolares reales ayudan a determinar si los resultados se mantienen en las condiciones habituales de enseñanza. La combinación de estos enfoques permitiría formular conclusiones más precisas sobre el papel de las funciones ejecutivas en el aprendizaje y sobre las posibilidades de intervenir pedagógicamente en ellas.

### 4.5. Cognición y afectividad: controversias sobre el papel de las emociones académicas

La relación entre cognición y afectividad constituye otro de los hallazgos relevantes de la presente revisión. Los resultados de Zheng et al. (2023) muestran que las emociones académicas mantienen vínculos significativos con los procesos de aprendizaje autorregulado. Esta evidencia permite superar la concepción tradicional según la cual los procesos cognitivos y emocionales operan de manera independiente. Durante el aprendizaje, los estudiantes no solamente procesan información, sino que también interpretan las demandas de las actividades, valoran sus posibilidades de éxito, experimentan emociones y regulan el esfuerzo necesario para alcanzar determinadas metas.

Sin embargo, persisten discrepancias teóricas acerca de la dirección y los mecanismos de estas relaciones. Las emociones pueden influir en la atención, la persistencia y la autorregulación, pero también pueden ser consecuencia de experiencias previas de éxito, fracaso o retroalimentación. Por ejemplo, la asociación entre ansiedad y bajo rendimiento no permite concluir automáticamente que la ansiedad sea la causa del desempeño insuficiente, puesto que las dificultades reiteradas también pueden aumentar la ansiedad ante las evaluaciones posteriores. Esta bidireccionalidad exige diseños longitudinales y experimentales que permitan diferenciar entre asociación, predicción y causalidad.

La convergencia entre la evidencia sobre funciones ejecutivas y la literatura sobre emociones académicas permite plantear una interpretación integrada de la autorregulación. Los procesos cognitivos aportan mecanismos para planificar, inhibir respuestas y modificar estrategias, mientras que las experiencias emocionales participan en la valoración de las tareas y en la regulación del esfuerzo. No obstante, la literatura todavía requiere mayor investigación longitudinal que permita determinar cómo estas dimensiones interactúan a lo largo del desarrollo y cómo sus relaciones pueden modificarse según la edad, el nivel educativo y las características del contexto escolar.

Desde esta perspectiva, tampoco resulta suficiente clasificar las emociones como positivas o negativas y atribuirles efectos generales sobre el aprendizaje. Una misma emoción puede cumplir funciones diferentes dependiendo de su intensidad, duración, contexto y relación con las características de la tarea. La ansiedad, por ejemplo, puede constituir un factor de interferencia cuando alcanza niveles elevados, pero la activación emocional asociada con una situación desafiante no necesariamente tiene consecuencias negativas. De manera similar, el interés y el disfrute pueden favorecer la implicación académica, aunque su influencia está condicionada por las características individuales y contextuales (Zheng et al., 2023).

Los resultados obtenidos por Cipriano et al. (2023) aportan evidencia adicional sobre la importancia de la dimensión socioemocional. La revisión y el metanálisis desarrollados por estos

autores muestran asociaciones favorables entre las intervenciones universales de aprendizaje socioemocional y diferentes resultados educativos, entre ellos las competencias personales, las relaciones interpersonales, el comportamiento y el rendimiento académico. No obstante, la heterogeneidad observada entre los programas y las condiciones de implementación indica que estos beneficios no pueden atribuirse de manera uniforme a cualquier propuesta socioemocional.

La discrepancia entre los resultados generales de los metanálisis y la variabilidad de los programas particulares obliga a distinguir entre la existencia de un efecto promedio favorable y la eficacia de una intervención específica. Los programas socioemocionales pueden diferir en objetivos, duración, contenidos, preparación docente y procedimientos de evaluación. Por tanto, los resultados globales no permiten afirmar que todas las intervenciones producirán beneficios idénticos en cualquier contexto. Es necesario determinar qué componentes contribuyen a los cambios observados y en qué condiciones estos se mantienen.

En la misma línea, los resultados de Xie et al. (2025) respaldan la existencia de asociaciones entre las emociones académicas y el desempeño de los estudiantes. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse desde una perspectiva no determinista, debido a que las emociones no actúan de manera aislada. El rendimiento académico constituye el resultado de la interacción entre variables cognitivas, afectivas, pedagógicas, familiares, sociales y contextuales.

En conjunto, Cipriano et al. (2023), Zheng et al. (2023) y Xie et al. (2025) convergen en señalar la relevancia de la dimensión emocional para comprender los procesos educativos, aunque sus unidades de análisis son diferentes. Esta diferencia constituye una consideración metodológica importante: los resultados de estudios correlacionales sobre emociones no pueden equipararse directamente con los efectos estimados de programas de intervención.

Una prioridad para futuras investigaciones consiste en integrar diseños longitudinales, experimentales y multinivel que permitan examinar cómo las emociones interactúan con las funciones ejecutivas, la autorregulación y las condiciones pedagógicas. Asimismo, se requiere distinguir entre los cambios en las competencias socioemocionales y sus posibles efectos sobre el rendimiento, evitando asumir que la mejora de una dimensión producirá automáticamente resultados equivalentes en las demás.

### 4.6. Implicaciones pedagógicas: de las afirmaciones neurocientíficas a la evidencia educativa

A partir de estos hallazgos, las implicaciones para la práctica pedagógica pueden formularse en términos de principios orientadores. Una enseñanza informada por la evidencia puede incorporar actividades que favorezcan la recuperación activa de información, la planificación, la resolución de problemas, la comparación de alternativas, la argumentación, la reflexión metacognitiva y la autorregulación. Estas experiencias ofrecen oportunidades para movilizar procesos cognitivos complejos y, simultáneamente, pueden contribuir al desarrollo de una mayor autonomía en el aprendizaje.

No obstante, las estrategias pedagógicas no adquieren validez por el simple hecho de presentarse como neuroeducativas. Su pertinencia debe establecerse mediante la correspondencia entre los objetivos curriculares, los mecanismos de aprendizaje que se pretende favorecer y los resultados empíricos que respaldan su utilización. Una actividad que mejora el desempeño en una prueba cognitiva no debería recomendarse automáticamente para todos los contenidos escolares si no se ha demostrado que sus beneficios se transfieren a los resultados educativos esperados.

La principal implicación de estos hallazgos consiste en desplazar el énfasis desde la aplicación de "técnicas neuroeducativas" hacia el diseño de experiencias de aprendizaje coherentes con principios cognitivos, emocionales y pedagógicos respaldados por evidencia. Esto supone que las estrategias de enseñanza deben justificarse por su pertinencia curricular, sus objetivos de aprendizaje y la evidencia disponible sobre su efectividad, y no exclusivamente por la incorporación de terminología relacionada con el cerebro.

La evidencia contradictoria sobre el entrenamiento de memoria de trabajo, particularmente la aportada por Hrysanidis et al. (2026), refuerza esta precaución. La utilización de actividades digitales variadas no garantizó beneficios adicionales respecto de la condición de control activo en las medidas evaluadas. Por consiguiente, la novedad tecnológica, la variedad de tareas o la supuesta estimulación de determinadas funciones cognitivas no deben considerarse indicadores suficientes de eficacia educativa. La selección de estrategias debe fundamentarse en sus resultados demostrables, su adecuación al currículo y las necesidades de los estudiantes.

La dimensión emocional también puede integrarse de manera transversal en la práctica pedagógica. La creación de ambientes caracterizados por relaciones respetuosas, participación, sentido de pertenencia y oportunidades de autorregulación puede favorecer condiciones apropiadas para el aprendizaje. No obstante, el propósito de la educación no debería ser mantener permanentemente estados emocionales positivos, sino desarrollar en los estudiantes recursos que les permitan reconocer, comprender y regular las diferentes experiencias afectivas que surgen frente a las demandas académicas.

La transferencia de estos principios al aula enfrenta condiciones que requieren mayor atención investigativa. Entre ellas se encuentran la formación profesional del docente, el tiempo disponible para implementar intervenciones, la disponibilidad de recursos, la cultura institucional, la carga curricular y la heterogeneidad del alumnado. Estos factores pueden modificar sustancialmente la forma en que una intervención es implementada y, por consiguiente, la magnitud de sus resultados.

En consecuencia, la eficacia de una intervención debe examinarse tanto en condiciones experimentales como en escenarios educativos reales. Una estrategia puede mostrar resultados favorables en una investigación controlada y enfrentar dificultades al implementarse en instituciones con grupos numerosos, recursos limitados o necesidades educativas diversas. La replicación en diferentes contextos permite determinar si los efectos se mantienen, requieren adaptaciones o dependen de condiciones específicas. Esta exigencia es especialmente relevante para los sistemas educativos latinoamericanos, donde las diferencias institucionales y socioculturales pueden limitar la transferencia directa de resultados obtenidos en otros países.

### 4.7. Neuromitos y alfabetización neurocientífica: evidencia empírica y formación docente

Un aspecto particularmente significativo de la discusión corresponde a la persistencia de los neuromitos. La revisión de Torrijos-Muelas et al. (2021) evidencia que determinadas creencias erróneas relacionadas con el funcionamiento cerebral y el aprendizaje continúan presentes entre docentes y futuros profesionales de la educación. Este fenómeno resulta preocupante debido a que una afirmación incorrecta puede adquirir apariencia de legitimidad cuando utiliza terminología neurocientífica. El problema no se limita a la existencia de conocimientos imprecisos, sino que puede extenderse a la toma de decisiones pedagógicas sustentadas en interpretaciones que carecen de respaldo científico suficiente.

La alfabetización neurocientífica constituye una posible vía para reducir esta brecha, aunque sus efectos deben evaluarse empíricamente. Ferreira y Rodríguez (2022) estudiaron la influencia de un curso anual sobre ciencia del aprendizaje en futuros docentes de Chile, mediante un grupo experimental y un grupo de control evaluados al inicio, a mitad y al final del año académico. Los resultados mostraron que el grupo que recibió el curso alcanzó un desempeño superior en alfabetización neurocientífica en las dos evaluaciones posteriores. Sin embargo, las diferencias en las creencias sobre neuromitos no fueron significativas al inicio ni a mitad del año; la reducción apareció al final del periodo formativo y el efecto de la intervención sobre estas creencias fue pequeño.

Este resultado constituye una aportación relevante porque demuestra que incrementar los conocimientos sobre el cerebro y modificar las creencias erróneas no son procesos necesariamente simultáneos. La adquisición de conocimientos científicos puede avanzar antes de que se produzca una revisión significativa de las ideas previas sobre aprendizaje e instrucción. Por tanto, la formación docente no debería limitarse a transmitir contenidos neurocientíficos, sino incorporar estrategias explícitas para identificar, contrastar y revisar creencias que carecen de suficiente respaldo empírico.

La investigación de Ferreira y Rodríguez (2022) también introduce un matiz metodológico importante. Aunque sus resultados respaldan el potencial de un curso de ciencia del aprendizaje para mejorar la alfabetización neurocientífica, no permiten afirmar que cualquier programa formativo produzca efectos equivalentes. La duración, el contenido, las estrategias de enseñanza y las características de los participantes pueden influir en los resultados. Además, las mejoras en conocimientos y creencias no demuestran automáticamente que los futuros docentes modifiquen sus prácticas de aula o que sus estudiantes obtengan mejores resultados académicos. Estas consecuencias requieren evaluaciones adicionales que permitan seguir la transferencia desde la formación hasta el ejercicio profesional.

Una evidencia complementaria procede de Ruiz-Martín et al. (2022), quienes examinaron la presencia de neuromitos entre docentes y evaluaron una intervención formativa dirigida a reducir estas creencias. Sus resultados aportan evidencia sobre la posibilidad de modificar determinadas concepciones mediante formación específica. La comparación con Ferreira y Rodríguez (2022) permite reconocer que las intervenciones formativas pueden producir cambios

en el conocimiento científico y en las creencias docentes, pero que ambos resultados deben medirse por separado. Asimismo, es necesario determinar cuánto tiempo persisten las mejoras y en qué medida se traducen en decisiones pedagógicas mejor fundamentadas.

En el contexto ecuatoriano, Zambrano et al. (2025) analizaron los conocimientos generales sobre el cerebro, los neuromitos y las concepciones erróneas sobre aprendizaje e instrucción en una muestra de 2.193 docentes en ejercicio. Los resultados mostraron una elevada presencia de creencias erróneas y una relación compleja entre el conocimiento general del cerebro y la aceptación de diferentes mitos. En particular, un mayor conocimiento general del cerebro se relacionó con menos concepciones erróneas sobre aprendizaje e instrucción, pero con una mayor adhesión a determinados neuromitos. Además, la formación en neurociencia educativa se asoció con una mayor creencia en neuromitos, aunque este resultado observacional no permite concluir que la formación haya causado dicha adhesión.

La comparación entre Ferreira y Rodríguez (2022) y Zambrano et al. (2025) muestra que el conocimiento neurocientífico no garantiza, por sí mismo, una interpretación correcta de las aplicaciones educativas de la ciencia. Mientras que una intervención formativa estructurada puede mejorar la alfabetización científica y reducir algunas creencias erróneas, los datos observacionales muestran que el conocimiento general del cerebro puede coexistir con concepciones equivocadas sobre su funcionamiento y su relación con el aprendizaje. Esta discrepancia refuerza la necesidad de evaluar la calidad y el enfoque de la formación, en lugar de asumir que cualquier exposición a contenidos neurocientíficos mejora necesariamente las decisiones pedagógicas.

Asimismo, las diferencias entre los estudios deben interpretarse considerando sus diseños. Ferreira y Rodríguez (2022) evaluaron un curso formativo a lo largo de un año, mientras que Zambrano et al. (2025) examinaron asociaciones en una muestra amplia de docentes en ejercicio. El primero permite analizar cambios vinculados con una intervención educativa concreta; el segundo permite describir patrones de creencias y asociaciones entre variables, pero no establecer relaciones causales. La combinación de ambos trabajos aporta una perspectiva complementaria, siempre que no se equiparen sus resultados ni se atribuya a la formación un efecto causal que el diseño observacional no puede demostrar.

La alfabetización neurocientífica puede interpretarse, por tanto, como un mecanismo de mediación entre la producción científica y su utilización pedagógica. Sin embargo, todavía es necesario determinar qué componentes de la formación docente resultan más eficaces, cuánto tiempo se mantienen sus efectos y en qué medida los cambios en conocimiento se traducen efectivamente en modificaciones de las decisiones pedagógicas.

Es por esta razón que las investigaciones futuras deberían combinar evaluaciones de conocimientos, análisis de creencias, observaciones de aula y seguimiento de los resultados educativos. Esta estrategia permitiría determinar si la formación científica contribuye a reducir los neuromitos, si mejora la calidad de las decisiones docentes y si dichos cambios se mantienen en el tiempo. De este modo, la alfabetización neurocientífica podría desarrollarse como una competencia crítica para interpretar evidencia, reconocer limitaciones metodológicas y distinguir entre resultados consolidados, hipótesis preliminares y afirmaciones sin suficiente respaldo empírico.

## 4.8. Transferencia del conocimiento científico y contexto educativo

La transferencia ciencia-práctica constituye uno de los desafíos estructurales más importantes identificados en esta revisión. Entre la generación de evidencia y su aplicación pedagógica existen varios niveles de mediación: interpretación científica, síntesis interdisciplinaria, formación profesional, adaptación curricular, implementación institucional y evaluación de resultados. Cada nivel puede introducir variaciones, pérdidas de información o interpretaciones indebidas. Por ello, la transferencia no debería concebirse como un proceso lineal desde el laboratorio hasta el aula, sino como un proceso bidireccional en el que las necesidades educativas también contribuyan a orientar las preguntas de investigación.

Esta perspectiva permite cuestionar la idea de que los hallazgos neurocientíficos deben trasladarse directamente a la práctica educativa. Un estudio experimental puede identificar un mecanismo cognitivo bajo condiciones controladas, pero la aplicación de una estrategia en el aula requiere considerar los objetivos curriculares, la diversidad del alumnado, las interacciones sociales y los recursos disponibles. Del mismo modo, las dificultades observadas por los docentes pueden generar preguntas que orienten nuevas investigaciones psicológicas y neurocientíficas. Por tanto, la relación entre ciencia y educación debe desarrollarse mediante una colaboración bidireccional, en la que las necesidades de la práctica y los resultados de la investigación se retroalimenten de manera continua.

Esta perspectiva permite identificar un vacío adicional: son todavía limitados los estudios que evalúan de manera conjunta la cadena completa de transferencia, desde el hallazgo neurocientífico hasta la modificación de una práctica docente y su posterior efecto sobre resultados educativos. La investigación futura debería prestar mayor atención a modelos de implementación que permitan determinar no solo si una intervención es eficaz, sino también si es factible, aceptable, sostenible y transferible a diferentes instituciones educativas.

Es muy importante considerar las implicaciones éticas de la utilización del conocimiento neurocientífico. Las diferencias observadas en capacidades cognitivas o procesos de desarrollo no deberían convertirse en etiquetas permanentes ni utilizarse para establecer expectativas rígidas sobre el potencial de los estudiantes. Los resultados científicos deben interpretarse considerando la variabilidad individual, la capacidad de adaptación y las oportunidades de aprendizaje. Una neuroeducación responsable debe contribuir a ampliar las posibilidades educativas y no a justificar prácticas deterministas o decisiones que restrinjan las oportunidades de participación del alumnado.

## 4.9. Limitaciones metodológicas y vacíos de investigación

Las limitaciones metodológicas identificadas en la literatura revisada refuerzan la necesidad de interpretar los resultados con prudencia. La presencia de muestras reducidas en algunos estudios, diseños heterogéneos, diferencias en las condiciones de control y procedimientos de evaluación diversos dificulta, en determinados casos, establecer relaciones causales sólidas. Estas limitaciones son particularmente relevantes en las investigaciones sobre neuroplasticidad y entrenamiento

cognitivo, en las que los resultados pueden variar según las características de las intervenciones y los métodos empleados para identificar los cambios.

No obstante, estas restricciones no deben atribuirse de manera uniforme a toda la literatura neuroeducativa. Los estudios difieren en calidad metodológica, objetivos y posibilidades de inferencia. Los diseños experimentales aleatorizados permiten evaluar con mayor rigor los efectos de intervenciones específicas, mientras que los estudios correlacionales contribuyen a identificar asociaciones y formular hipótesis, aunque no demuestran por sí solos relaciones causales. La evaluación crítica debe considerar estas diferencias para evitar tanto la aceptación indiscriminada de los hallazgos como su desestimación generalizada.

Los estudios de entrenamiento cognitivo incorporados en esta discusión ilustran la importancia de examinar las condiciones de comparación y la duración del seguimiento. Mientras algunas investigaciones identifican mejoras en determinadas medidas, Hrysanidis et al. (2026) no encontraron ventajas de las modalidades de entrenamiento evaluadas frente a un control activo. La discrepancia muestra que los efectos no deben interpretarse sin considerar la intervención concreta, los resultados medidos y las condiciones experimentales. También evidencia la necesidad de incluir resultados nulos en las síntesis de la literatura, en lugar de privilegiar exclusivamente los estudios que presentan efectos favorables.

Otro aspecto relevante es la diferencia entre significación estadística y relevancia educativa. Un efecto estadísticamente significativo no implica necesariamente que la magnitud del cambio sea suficiente para justificar la implementación de una estrategia a gran escala. La interpretación debe considerar el tamaño del efecto, la precisión de las estimaciones, la estabilidad de los resultados y los recursos necesarios para aplicar la intervención. En los metanálisis, además, el efecto promedio debe interpretarse teniendo en cuenta la heterogeneidad de los estudios y la posible variabilidad entre poblaciones y contextos.

A partir del contraste entre los hallazgos convergentes y las discrepancias identificadas, se pueden establecer varias prioridades para futuras investigaciones.

En primer lugar, se requieren diseños longitudinales que permitan examinar la relación entre cambios neurobiológicos, capacidades cognitivas y resultados curriculares. En segundo lugar, es necesario comparar intervenciones cognitivas con estrategias pedagógicas directamente vinculadas con los objetivos académicos, mediante grupos de control apropiados y medidas de transferencia. En tercer lugar, deben desarrollarse estudios que integren cognición, emoción y contexto para identificar los factores que moderan el aprendizaje. En cuarto lugar, la investigación sobre formación docente debe examinar si los cambios en conocimientos y creencias se traducen en prácticas de enseñanza diferentes y sostenibles. Finalmente, resulta fundamental ampliar la diversidad geográfica y sociocultural de las muestras, así como fortalecer la replicación y la transparencia metodológica.

Estas prioridades permitirían avanzar desde afirmaciones generales sobre la utilidad de la neuroeducación hacia explicaciones más precisas de sus posibilidades y limitaciones. La cuestión central no consiste únicamente en determinar si existe evidencia favorable, sino en establecer para

qué población, en qué condiciones, mediante qué mecanismos y con qué resultados educativos una intervención puede considerarse efectiva.

### 4.10. Síntesis crítica de la discusión

Los hallazgos de la presente revisión permiten sostener que la neuroeducación ofrece posibilidades relevantes para comprender los procesos de enseñanza y aprendizaje, siempre que sus aportaciones se integren críticamente con los conocimientos de la psicología cognitiva y las ciencias de la educación. La neuroplasticidad contribuye a explicar la capacidad adaptativa del sistema nervioso; las funciones ejecutivas permiten examinar procesos cognitivos vinculados con el desempeño; las emociones académicas evidencian la importancia de la dimensión afectiva; y los estudios sobre neuromitos muestran las dificultades que pueden surgir al trasladar el conocimiento científico a la formación docente.

Sin embargo, las discrepancias identificadas muestran que estas líneas de investigación no ofrecen evidencias equivalentes ni permiten establecer conclusiones universales sobre la eficacia de las prácticas pedagógicas. Los resultados divergentes del entrenamiento cognitivo, incluidos los hallazgos nulos de Hrysanidis et al. (2026), cuestionan la generalización automática de las mejoras obtenidas en tareas específicas. De manera complementaria, Ferreira y Rodríguez (2022) muestran que el conocimiento neurocientífico y la modificación de los neuromitos no necesariamente avanzan de forma simultánea, mientras que Zambrano et al. (2025) evidencian asociaciones complejas entre el conocimiento del cerebro y las creencias educativas en docentes ecuatorianos. Estos resultados refuerzan la necesidad de distinguir entre evidencia favorable, evidencia contradictoria y cuestiones que todavía requieren investigación.

En consecuencia, la principal contribución de una perspectiva crítica consiste en delimitar el alcance de las conclusiones y reconocer que las discrepancias empíricas no constituyen necesariamente una debilidad del campo, sino una oportunidad para revisar sus explicaciones y precisar sus condiciones de aplicación. La neuroeducación no debería promoverse como una solución universal para los problemas educativos ni rechazarse por la existencia de resultados heterogéneos. Su valor depende de la calidad de la evidencia, la coherencia de las inferencias y la capacidad de establecer relaciones verificables entre los conocimientos científicos y las necesidades reales de la enseñanza.

Desde esta perspectiva, la consolidación de la neuroeducación requiere superar tanto el reduccionismo neurobiológico como la aplicación indiscriminada de supuestas técnicas cerebrales. Esto implica fortalecer el diálogo interdisciplinario, incorporar estudios empíricos primarios con resultados diversos, evaluar críticamente las metodologías empleadas y desarrollar investigaciones que permitan determinar la eficacia, la sostenibilidad y la transferibilidad de las intervenciones. Desde esta perspectiva, la neuroeducación puede contribuir de manera rigurosa al desarrollo de prácticas pedagógicas fundamentadas, contextualizadas y susceptibles de evaluación, sin sustituir el papel de la pedagogía ni desconocer la complejidad social y cultural del aprendizaje.

**Tabla 7**

*Caracterización temática y metodológica de los estudios incluidos en la revisión integrativa*

| Autor(es) y año | Tema central | Tipo de estudio | Aporte a la revisión |
|---|---|---|---|
| Cipriano et al. (2023) | Aprendizaje socioemocional. | Metanálisis. | Fundamenta la importancia de las intervenciones socioemocionales en el contexto escolar. |
| Ferreira y Rodríguez (2022) | Alfabetización neurocientífica y neuromitos. | Estudio de intervención formativa. | Contribuye al análisis de la formación científica y las creencias docentes sobre el cerebro. |
| Hrysanidis et al. (2026) | Entrenamiento de la memoria de trabajo en niños. | Ensayo controlado aleatorizado. | Permite examinar los resultados de distintas actividades de entrenamiento cognitivo. |
| Liu et al. (2023) | Memoria de trabajo y control inhibitorio. | Estudio de entrenamiento cognitivo. | Aborda la transferencia de los efectos del entrenamiento entre funciones ejecutivas. |
| Pappa et al. (2020) | Actualización de la memoria de trabajo y plasticidad neural. | Revisión sistemática y metanálisis. | Relaciona el entrenamiento cognitivo con posibles cambios neurales y conductuales. |
| Pradeep et al. (2024) | Neuroeducación y procesos de enseñanza-aprendizaje. | Artículo sobre neuroeducación; verificar metodología. | Aporta un marco para comprender la relación entre dinámica neural, aprendizaje y enseñanza. |
| Rousseau (2024) | Reducción de neuromitos mediante formación docente. | Revisión de intervenciones de desarrollo profesional. | Orienta el análisis de estrategias formativas para mejorar el conocimiento neurocientífico docente. |
| Ruiz-Martín et al. (2022) | Persistencia de neuromitos entre docentes. | Estudio sobre prevalencia e intervención. | Contribuye a identificar creencias erróneas y la necesidad de intervenciones educativas. |
| Spiegel et al. (2021) | Funciones ejecutivas y rendimiento académico. | Metanálisis. | Examina la relación entre procesos ejecutivos y resultados académicos en educación primaria. |
| Torrijos-Muelas et al. (2021) | Persistencia de neuromitos en educación. | Revisión sistemática. | Ofrece una perspectiva sobre la presencia de concepciones erróneas acerca del aprendizaje y el cerebro. |
| Tymofiyeva y Gaschler (2021) | Plasticidad neural inducida por entrenamiento en jóvenes. | Revisión sistemática de estudios de neuroimagen. | Permite analizar cambios estructurales y funcionales asociados al entrenamiento. |
| Vernucci et al. (2023) | Entrenamiento de memoria de trabajo y capacidades cognitivas y académicas. | Estudio de efectos del entrenamiento. | Relaciona el entrenamiento cognitivo con posibles beneficios académicos y cognitivos. |
| Weyandt et al. (2020) | Neuroplasticidad infantil y adolescente ante intervenciones. | Revisión sistemática. | Contribuye a examinar la plasticidad neural en respuesta a intervenciones durante el desarrollo. |
| Xie et al. (2025) | Emociones académicas y resultados de aprendizaje. | Metanálisis de tres niveles. | Permite analizar la relación entre las emociones académicas y los resultados educativos. |

| Autor(es) y año | Tema central | Tipo de estudio | Aporte a la revisión |
|---|---|---|---|
| Zambrano et al. (2025) | Mitos educativos entre docentes ecuatorianos. | Estudio de prevalencia. | Aporta un referente contextual para examinar los mitos educativos en Ecuador. |
| Zheng et al. (2023) | Emociones y aprendizaje autorregulado. | Revisión crítica de la literatura y metanálisis. | Integra la dimensión emocional en el análisis de los procesos de autorregulación del aprendizaje. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de las referencias bibliográficas seleccionadas para la revisión integrativa.

La evidencia sintetizada en la Tabla 7 muestra la diversidad de enfoques desde los cuales se ha investigado la neuroeducación, con énfasis en las funciones ejecutivas, la neuroplasticidad, la dimensión emocional del aprendizaje y la persistencia de los neuromitos en el ámbito educativo. En conjunto, los estudios ofrecen perspectivas complementarias para comprender los procesos cognitivos y socioemocionales vinculados al aprendizaje, así como la necesidad de fortalecer la alfabetización neurocientífica del profesorado. Esta integración permite identificar tanto los aportes de las intervenciones educativas como las limitaciones y los desafíos pendientes, proporcionando una base conceptual para analizar las implicaciones de la evidencia neurocientífica en las prácticas pedagógicas.

## 5. Conclusiones

La revisión evidencia que el aprendizaje constituye un proceso multidimensional en el que interactúan la neuroplasticidad, las funciones ejecutivas, la atención, la memoria, las emociones y la motivación. El hallazgo central radica en que la comprensión de los procesos de aprendizaje requiere una perspectiva integradora que articule las dimensiones neurocognitiva, afectiva, pedagógica y contextual, evitando explicaciones reduccionistas basadas en factores aislados. Desde esta perspectiva, la neuroeducación adquiere relevancia como campo interdisciplinario capaz de establecer puentes entre la evidencia científica y la práctica educativa, siempre que la transferencia del conocimiento se realice de manera crítica y atendiendo a sus fundamentos metodológicos y límites explicativos.

En el plano pedagógico, los resultados destacan la pertinencia de incorporar estrategias orientadas al fortalecimiento de las funciones ejecutivas, la autorregulación, la metacognición y el bienestar socioemocional, en consonancia con los objetivos curriculares y las características del alumnado. Su implementación requiere fortalecer la alfabetización científica del profesorado para distinguir los hallazgos respaldados empíricamente de las hipótesis emergentes y los neuromitos. En consecuencia, la aplicación de principios neuroeducativos debe sustentarse en evidencia contrastable, pertinencia contextual y evaluación sistemática, sin asumir la existencia de técnicas universales aplicables de manera indistinta a todos los estudiantes y escenarios educativos.

En cuanto a las implicaciones prácticas, se recomienda promover programas de formación docente continua, mecanismos de colaboración entre investigadores y centros educativos,

y criterios de evaluación que permitan valorar la efectividad y viabilidad de las intervenciones neuroeducativas. Asimismo, los responsables de las políticas educativas deberían favorecer iniciativas que integren la investigación científica con las necesidades reales de las instituciones, priorizando la calidad de la evidencia, la inclusión y la sostenibilidad de las prácticas implementadas.

Como líneas futuras de investigación, se requieren estudios longitudinales, experimentales y cuasiexperimentales que examinen la relación entre los procesos neurocognitivos y los resultados educativos, así como la estabilidad de los efectos y su transferencia a contextos reales. También resulta prioritario ampliar la diversidad de las muestras, analizar las diferencias entre niveles educativos y contextos socioculturales, y determinar para quiénes, en qué condiciones y mediante qué mecanismos las intervenciones producen beneficios educativos significativos. De igual manera, es necesario evaluar la eficacia de los programas de formación docente destinados a fortalecer la alfabetización neurocientífica y reducir la influencia de los neuromitos.

En síntesis, la principal contribución de esta revisión consiste en integrar críticamente la evidencia disponible y delimitar tanto las posibilidades de la neuroeducación como las condiciones necesarias para su aplicación responsable. Su consolidación dependerá de la articulación efectiva entre rigor científico, pertinencia pedagógica, contextualización y evaluación de resultados, de modo que el conocimiento neurocientífico contribuya a mejorar los procesos educativos sin sustituir la complejidad propia de la investigación pedagógica.

## Referencias bibliográficas

Cipriano, C., Strambler, M. J., Naples, L. H., Ha, C., Kirk, M., Wood, M., Sehgal, K., Zieher, A. K., Eveleigh, A., McCarthy, M., Funaro, M., Ponnock, A., Chow, J. C., & Durlak, J. (2023). The state of evidence for social and emotional learning: A contemporary meta-analysis of universal school-based SEL interventions. *Child Development, 94*(5), 1181–1204. https://doi.org/10.1111/cdev.13968

Ferreira, R. A., & Rodríguez, C. (2022). Effect of a science of learning course on beliefs in neuromyths and neuroscience literacy. *Brain Sciences, 12*(7), Article 811. https://doi.org/10.3390/brainsci12070811

Hrysanidis, C., Anderson, P. J., Lau, R. C., Gathercole, S., Wiley, J. F., & Spencer-Smith, M. (2026). Outcomes of varied activities in working memory training for children: A randomized controlled trial. *Developmental Science, 29*(2), Article e70130. https://doi.org/10.1111/desc.70130

Liu, H., Qi, Y., Zhang, H., Liang, Y., Lu, L., Zhou, J., Zhang, T., & Yu, X. (2023). Training and asymmetrical transfer effects of working memory and inhibitory control in primary school children. *Journal of Experimental Child Psychology, 228*, Article 105603. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2022.105603

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., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pappa, K., Biswas, V., Flegal, K., Evans, J., & Baylan, S. (2020). Working memory updating training promotes neural plasticity & behavioural gains: A systematic review & meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 118*, 209–235. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.07.027

Pradeep, K., Sulur Anbalagan, R., Thangavelu, A. P., Aswathy, S., Jisha, V. G., & Vaisakhi, V. S. (2024). Neuroeducation: Understanding neural dynamics in learning and teaching. *Frontiers in Education, 9*, 1437418. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1437418

Rousseau, L. (2024). Dispelling educational neuromyths: A review of in-service teacher professional development interventions. *Mind, Brain, and Education, 18*(3), 270–287. https://doi.org/10.1111/mbe.12414

Ruiz-Martín, H., Portero-Tresserra, M., Martínez-Molina, A., & Ferrero, M. (2022). Tenacious educational neuromyths: Prevalence among teachers and an intervention. *Trends in Neuroscience and Education, 29*, Article 100192. https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100192

Spiegel, J. A., Goodrich, J. M., Morris, B. M., Osborne, C. M., & Lonigan, C. J. (2021). Relations between executive functions and academic outcomes in elementary school children: A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 147*(4), 329–351. https://doi.org/10.1037/bul0000322

Torrijos-Muelas, M., González-Víllora, S., & Bodoque-Osma, A. R. (2021). The persistence of neuromyths in the educational settings: A systematic review. *Frontiers in Psychology, 11*, 591923. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.591923

Tymofiyeva, O., & Gaschler, R. (2021). Training-induced neural plasticity in youth: A systematic review of structural and functional MRI studies. *Frontiers in Human Neuroscience, 14*, 497245. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.497245

Vernucci, S., Canet-Juric, L., & Richard, M. M. (2023). Effects of working memory training on cognitive and academic abilities in typically developing school-age children. *Psychological Research, 87*, 308–326. https://doi.org/10.1007/s00426-022-01647-1

Weyandt, L. L., Clarkin, C. M., Holding, E. Z., May, S. E., Marraccini, M. E., Gudmundsdottir, B. G., Shepard, E., & Thompson, L. (2020). Neuroplasticity in children and adolescents in response to treatment intervention: A systematic review of the literature. *Journal of Neurophysiology and Neurological Disorders*. https://doi.org/10.1177/2514183X20974231

Xie, J., Cho, K. W., Wei, T., Xu, J., & Fan, M. (2025). The effects of academic emotions on learning outcomes: A three-level meta-analysis of research conducted between 2000 and 2024. *Learning and Motivation, 90*, 102109. https://doi.org/10.1016/j.lmot.2025.102109

Zambrano, J., Chaguay, J., Mayorga, J., Kirschner, P. A., Parra, W., & Lazo, A. (2025). Prevalence of educational myths among Ecuadorian teachers. *Trends in Neuroscience and Education, 41*, Article 100273. https://doi.org/10.1016/j.tine.2025.100273

Zheng, J., Lajoie, S., & Li, S. (2023). Emotions in self-regulated learning: A critical literature review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology, 14*, 1137010. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1137010

# Parte III.

*Sociedad, interculturalidad y desarrollo territorial.*

CAPÍTULO 7

# Cuando enseñar también significa proteger: docencia y seguridad humana en territorios fragmentados

*When teaching also means protecting: teaching and human security in fragmented territories*

1 **Dalton Xavier Colorado Pullas**
*Máster en Estudios de Seguridad Internacional*
Investigador independiente, Ecuador
dalton.colorado@undp.org
https://orcid.org/0009-0005-3423-0466

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_7 RECIBIDO 21/08/2026 | ACEPTADO 14/10/2026

## RESUMEN

La violencia criminal ha alterado las condiciones para garantizar el derecho a la educación en varios territorios del Ecuador. Esta revisión narrativa analiza cómo la escuela y el personal docente pueden contribuir a la seguridad humana sin asumir funciones policiales, investigativas ni terapéuticas. Se examinaron 26 documentos sustantivos (12 artículos revisados por pares, 10 documentos institucionales, una fuente normativa, un libro académico y dos notas periodísticas de corroboración) mediante búsqueda temática, encadenamiento de referencias y codificación cualitativa. La evidencia indica que la violencia, la exclusión educativa, el debilitamiento de redes familiares y comunitarias, el control territorial y la captación digital se refuerzan entre sí. El aporte original es un marco conceptual de cinco capacidades docentes: lectura contextual, vínculo protector, prevención física y digital, alerta y derivación segura, y autocuidado respaldado. Cada capacidad vincula acciones permitidas, límites profesionales y responsabilidades institucionales. El modelo no es un protocolo oficial ni ha sido validado empíricamente; ofrece una base para formación, planificación y evaluación institucional que requiere contrastación aplicada. Enseñar también significa proteger cuando el sistema educativo sostiene la permanencia escolar, dispone de rutas funcionales y evita exponer al docente a riesgos que exceden su función profesional.

**Palabras clave:** educación, seguridad humana, violencia territorial, seguridad escolar, reclutamiento

## ABSTRACT

Criminal violence has altered the conditions for guaranteeing the right to education in several territories of Ecuador. This narrative review examines how schools and teachers can contribute to human security without assuming police, investigative, or therapeutic functions. Twenty-six substantive documents were analyzed (12 peer-reviewed articles, 10 institutional documents, one legal source, one academic book, and two news reports used for contextual corroboration) through thematic searching, reference chaining, and qualitative coding. The evidence indicates that

violence, educational exclusion, weakened family and community networks, territorial control, and online recruitment reinforce one another. The chapter's original contribution is a conceptual framework of five teacher capacities: contextual awareness, protective relationships, physical and digital prevention, safe alert and referral, and institutionally supported self-care. Each capacity connects permitted actions, professional boundaries, and institutional responsibilities. The model is neither an official protocol nor empirically validated; it provides a basis for training, planning, and institutional assessment that requires applied testing. Teaching also means protecting when the education system sustains school participation, provides functional referral pathways, and prevents teachers from being exposed to risks beyond their professional role.

**Keywords:** education, human security, territorial violence, school safety, child recruitment

## 1. Introducción

Durante años, la discusión educativa en el Ecuador se concentró en cobertura, infraestructura, aprendizaje y permanencia. Esos asuntos siguen siendo indispensables, pero resultan insuficientes para comprender lo que ocurre en localidades donde la violencia criminal regula horarios, movilidad, relaciones comunitarias y expectativas de futuro. En esos escenarios, llegar a la escuela, permanecer en ella y confiar en una persona adulta ya son hechos atravesados por la seguridad.

La crisis no es abstracta. El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, 2025) registró que, entre 2021 y 2024, los homicidios de personas de 0 a 17 años pasaron de 79 a 412. En adolescentes de 12 a 17 años, la tasa nacional subió de 2,9 a 19,1 por cada 100.000 habitantes del mismo grupo etario. Para 2024, Esmeraldas y Sucumbíos alcanzaron tasas de 30,8 y 24,7 homicidios por cada 100.000 adolescentes, respectivamente; Carchi registró 11,2. El mismo estudio advierte que no existen cifras oficiales públicas que permitan dimensionar directamente el reclutamiento a escala nacional. Por eso, los homicidios, las desapariciones y las detenciones son señales de contexto, no medidas equivalentes de reclutamiento.

La situación se agravó en 2025. Un documento técnico publicado por UNICEF en 2026 señala que el país registró 9.216 homicidios durante 2025, de los cuales 818 correspondieron a niños y adolescentes. El documento también advierte que la inseguridad, el miedo y la movilidad en territorios afectados por la violencia armada contribuyen al ausentismo y al abandono escolar, mientras que la insuficiencia del apoyo psicosocial y de salud mental reduce la capacidad de los estudiantes para aprender y permanecer en el sistema educativo (UNICEF, 2026, pp. 1- 2). Estos datos justifican una lectura actualizada del papel de la escuela y, al mismo tiempo, obligan a evitar respuestas simplistas, pues trasladar al personal docente responsabilidades de seguridad que corresponden al Estado puede aumentar su exposición y debilitar su función pedagógica.

A nivel internacional, la literatura científica ha documentado de manera amplia el impacto de la violencia armada en los entornos escolares, así como el papel protector del clima social y el sentido de pertenencia educativa (Berny & Tanner-Smith, 2024; Raniti et al., 2022). Sin embargo, en el contexto latinoamericano, y sobre todo en Ecuador, la relación entre el control territorial por parte de grupos de delincuencia organizada, la captación digital y el rol específico de la docencia en la prevención primaria permanece insuficientemente explorada.

Dentro del corpus documental revisado se identificó menor desarrollo de propuestas que delimiten las capacidades pedagógicas e institucionales mediante las cuales el personal docente puede contribuir a la protección sin asumir funciones policiales, investigativas o clínicas.

El capítulo atiende este vacío mediante un marco conceptual de cinco capacidades docentes delimitadas por los principios de seguridad humana, protección de derechos y no daño. Su aporte original consiste en relacionar acciones pedagógicas permitidas, límites profesionales y niveles institucionales responsables, una articulación que no se identificó de forma integrada en el corpus revisado.

El modelo se deriva exclusivamente de la síntesis de la literatura revisada y debe entenderse como una propuesta conceptual. No cuenta con validación empírica ni permite inferir efectividad, causalidad o aplicabilidad general; por ello, sus componentes requieren contrastación situada antes de orientar decisiones institucionales.

El objetivo es analizar, desde el enfoque de seguridad humana, el papel protector de la docencia en territorios fragmentados por violencia criminal y proponer capacidades institucionales y profesionales para prevenir riesgos, reconocer señales y derivar casos de manera segura sin desnaturalizar la función educativa. El análisis se vincula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4 y 16, relativos a educación de calidad, paz, justicia e instituciones sólidas (Naciones Unidas, 2015). La pregunta orientadora es: ¿en qué condiciones enseñar puede contribuir a proteger sin convertir al docente en responsable individual de enfrentar amenazas complejas?

## 2. Metodología de la revisión

Este capítulo adopta una revisión narrativa con procedimientos explícitos de búsqueda y análisis. A diferencia de una revisión sistemática, no busca responder una pregunta estrecha mediante un protocolo exhaustivo y reproducible ni estimar efectos combinados. Tampoco es una revisión integrativa en sentido estricto, pues no aplica todas las fases formales de evaluación e integración de diseños empíricos heterogéneos. La revisión narrativa permite relacionar normativa, informes humanitarios, estudios académicos y aportes teóricos para interpretar un fenómeno emergente, multidimensional y con evidencia ecuatoriana todavía fragmentaria. Esta elección es coherente con la utilidad de las revisiones narrativas para síntesis conceptuales amplias, siempre que se transparenten la búsqueda, la selección y los límites del corpus (Ferrari, 2015; Snyder, 2019; Whittemore & Knafl, 2005).

El análisis se organizó mediante codificación temática en cinco categorías: contexto territorial; factores de riesgo; factores protectores; límites del rol docente; y capacidades institucionales. Las categorías surgieron de una lectura comparada e iterativa y dieron origen al marco presentado en el apartado 3.6. La síntesis privilegió convergencias, divergencias y condiciones de transferencia al Ecuador, no la suma cuantitativa de resultados.

La evidencia internacional se utilizó mediante un criterio de transferibilidad analítica, no como extrapolación directa de resultados. Se retuvieron mecanismos recurrentes, como pertenencia

escolar, vínculos confiables, apoyo organizacional y derivación segura, cuando mostraban coherencia entre contextos; posteriormente se contrastaron con la normativa, la organización territorial y la evidencia institucional ecuatorianas. En consecuencia, el capítulo traslada principios y preguntas de análisis, pero no magnitudes de efecto ni modelos operativos, cuya pertinencia debe validarse localmente.

El marco de cinco capacidades surge de una síntesis teórica e inductiva del corpus. Es una propuesta analítico-conceptual para orientar la discusión sobre política educativa y formación docente. No es un protocolo oficial de intervención, no sustituye la normativa ni las rutas vigentes del Ministerio de Educación, y no ha sido validado empíricamente. Su pertinencia, factibilidad, seguridad y resultados deberán contrastarse mediante investigación aplicada antes de cualquier adopción institucional.

### 2.1. Estrategia de búsqueda

La búsqueda priorizó documentos publicados entre 2022 y 2026 sobre Ecuador, con atención particular a Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos, y se actualizó hasta el 16 de agosto de 2026. Se conservaron obras anteriores a ese periodo cuando aportaban conceptos fundacionales sobre seguridad humana, desarrollo ecológico, pedagogía o resiliencia. Los ejes temáticos de búsqueda, en español e inglés, fueron: violencia y educación / violence and education; reclutamiento, uso y utilización de niños, niñas y adolescentes / child recruitment; desplazamiento y confinamiento / displacement; escuela protectora / school protection; ciudadanía y riesgos digitales / digital citizenship, online grooming; rutas de actuación / referral pathways; y bienestar docente / teacher well-being.

La búsqueda original se ejecutó del 1 al 16 de agosto de 2026 y se realizó una actualización focalizada hasta el 17 de septiembre de 2026. En Crossref se aplicaron tres ecuaciones: (1) (“school connectedness” OR “teacher support” OR “school climate”) AND (violence OR adversity OR displacement) AND (adolescent OR student); (2) (teacher OR educator) AND (violence OR crisis OR aggression) AND (well-being OR safety OR protection); y (3) (“child recruitment” OR “criminal exploitation” OR “digital recruitment”) AND (school OR education OR adolescent).

En PubMed/PMC se utilizó: ((“school connectedness”[Title/Abstract] OR “teacher support”[Title/Abstract]) AND (violence[Title/Abstract] OR adversity[Title/Abstract] OR conflict[Title/Abstract]) AND (adolescent[Title/Abstract] OR youth[Title/Abstract])). En SciELO se aplicó: (clima escolar OR vínculo docente OR conexión escolar) AND (violencia OR riesgo OR adversidad). Las referencias pertinentes se rastrearon hacia atrás y hacia adelante; los metadatos se comprobaron en Crossref, PubMed o la fuente editorial.

### 2.2. Bases y repositorios consultados

Se consultaron Crossref, PubMed/PMC y SciELO, además de los repositorios oficiales del Ministerio de Educación del Ecuador, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

(UNICEF), el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Naciones Unidas en Ecuador. La actualización posterior al arbitraje incorporó un informe regional de UNICEF y la OPS de 2026 por su análisis específico de violencia digital, reclutamiento en línea y respuestas aplicadas en América Latina y el Caribe.

### 2.3. Criterios de inclusión

Se incluyeron documentos que: a) abordaran violencia criminal, seguridad humana, reclutamiento de niños, niñas y adolescentes, desplazamiento, protección escolar, ciudadanía digital o bienestar docente; b) tuvieran como referencia geográfica el Ecuador, con énfasis en las provincias de la frontera norte, o aportaran marcos conceptuales aplicables a ese contexto; c) hubieran sido publicados entre 2022 y 2026, salvo obras conceptuales fundacionales; y d) procedieran de organismos oficiales, agencias del sistema de Naciones Unidas, literatura académica revisada por pares o medios periodísticos verificables con corroboración cruzada.

### 2.4. Criterios de exclusión

Se excluyeron duplicados; registros sin texto completo o sin trazabilidad institucional o editorial; documentos sin relación identificable con educación, protección infantil o función docente; estudios de contextos no transferibles al problema; piezas de opinión sin método o respaldo documental; y notas periodísticas no corroboradas por otra fuente independiente cuando se utilizaron para documentar hechos puntuales. En la fase de texto completo también se descartaron fuentes que solo mencionaban violencia o tecnología sin aportar resultados, conceptos o recomendaciones aplicables a las categorías analíticas. Debido a que la revisión original no se registró mediante un protocolo prospectivo, no se dispone de un conteo exhaustivo de todos los resultados iniciales; esta limitación se explicita para no atribuir al proceso la reproducibilidad de una revisión sistemática.

### 2.5. Selección y análisis documental

El corpus sustantivo final quedó integrado por 26 documentos: 12 artículos revisados por pares, 10 documentos institucionales, una fuente normativa, un libro académico y dos notas periodísticas de corroboración contextual. Las tres referencias metodológicas utilizadas para justificar el tipo de revisión no se contabilizaron como evidencia sustantiva sobre el fenómeno. La deduplicación se realizó por título, autor, año y DOI. Los 26 textos fueron examinados a texto completo y organizados en una matriz con autoría, año, tipo de fuente, territorio, población, método y aporte al capítulo. La codificación abarcó violencia y control territorial; reclutamiento y exclusión; desplazamiento y salud mental; riesgos digitales; y rol docente y capacidades protectoras.

La calidad y relevancia se valoraron según criterios diferenciados. En artículos académicos se comprobó revisión por pares, coherencia entre pregunta, método y resultados, metadatos editoriales y DOI cuando existía. En documentos institucionales se examinó autoría oficial, claridad

metodológica, actualidad, alcance territorial y correspondencia entre datos y conclusiones. La norma se verificó en el Registro Oficial y las noticias se limitaron a corroborar un hecho puntual mediante dos medios independientes. No se aplicó una escala formal de riesgo de sesgo, por la heterogeneidad del corpus; por ello, las fuentes institucionales y periodísticas no se trataron como equivalentes a estudios empíricos revisados por pares.

La experiencia profesional previa del autor en docencia y su trabajo posterior en análisis de seguridad en la frontera norte del Ecuador funcionaron como punto de partida reflexivo para formular el problema y contrastar su relevancia territorial. No se trataron como datos primarios ni como sustituto del trabajo de campo sistemático. El capítulo no incluye entrevistas, encuestas ni información operacional o identificable, lo que reduce los riesgos éticos y evita atribuir representatividad científica a observaciones profesionales no recolectadas mediante un protocolo de investigación (véanse la Figura 1 y la Tabla 1).

**Tabla 1**

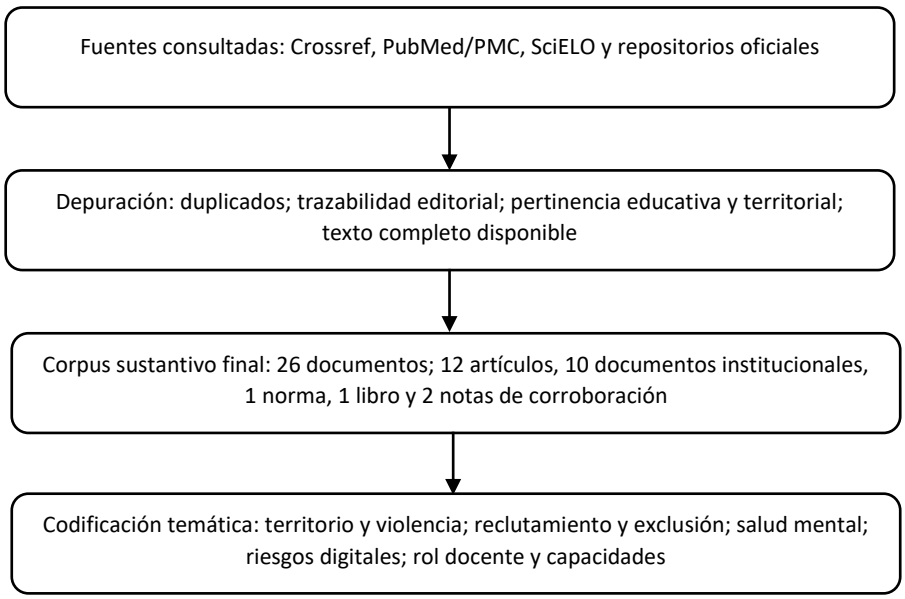
*Composición y alcance del corpus documental*

| Tipo de fuente | n | Cobertura representada | Aporte principal |
|---|---|---|---|
| Artículos revisados por pares | 12 | Australia, Chile, Estados Unidos, Irlanda, República Democrática del Congo, Sudán del Sur y Uganda | Conexión escolar, salud mental, convivencia, explotación criminal y bienestar docente |
| Documentos institucionales | 10 | Ecuador, América Latina y el Caribe, y marcos globales | Violencia, reclutamiento, desplazamiento, ciudadanía digital, seguridad humana y respuesta institucional |
| Fuente normativa | 1 | Ecuador | Organización territorial y cobertura DECE |
| Libro académico | 1 | Marco internacional | Resiliencia como interacción entre personas y sistemas |
| Notas periodísticas | 2 | San Lorenzo, Esmeraldas | Corroboración contextual de un hecho puntual |
| Total | 26 | Educación, psicología, salud pública, criminología, protección infantil, seguridad humana y política pública | Síntesis temática y construcción del marco conceptual |

*Nota.* Las tres referencias metodológicas no se incluyen en este corpus sustantivo. Elaboración propia.

**Figura 1**

*Proceso de búsqueda, selección y análisis documental*




*Nota*. La ausencia de un conteo inicial completo se reconoce como limitación de la revisión narrativa. Elaboración propia.

## 3. Desarrollo de la revisión

### 3.1. Territorios fragmentados y seguridad humana

Un territorio fragmentado no es simplemente un lugar con delitos. Es un espacio donde la violencia, la desigualdad y la débil capacidad institucional alteran las relaciones cotidianas y producen accesos diferenciados a derechos. Las llamadas fronteras invisibles pueden limitar la movilidad entre barrios o comunidades; la extorsión modifica el funcionamiento de negocios y servicios; las amenazas provocan confinamiento o desplazamiento; y el temor y la desconfianza reducen las denuncias. La fragmentación también es digital: teléfonos y redes sociales conectan a los adolescentes con oportunidades educativas, pero permiten vigilancia, intimidación, engaño y captación fuera de la mirada de familias y escuelas.

El análisis del caso ecuatoriano exige reconocer marcadas asimetrías territoriales e institucionales que diferencian su realidad de otros contextos regionales. Mientras que la literatura internacional sobre escuelas en contextos de conflicto armado suele analizar guerras civiles tradicionales o presencia estatal nula, en Ecuador la fragmentación responde a la rápida expansión del crimen organizado transnacional sobre estructuras institucionales preexistentes. Esta dinámica adquiere particular gravedad en las provincias de la frontera norte (Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos) y en el litoral costero, donde convergen corredores del narcotráfico, reclutamiento forzado, tráfico de armas y condiciones de porosidad fronteriza que exponen a las comunidades educativas a confinamiento, extorsión, enfrentamientos armados y otras manifestaciones de violencia (ACNUR, 2025; UNICEF, 2025).

Asimismo, el sistema educativo ecuatoriano presenta particularidades operativas derivadas de su organización territorial. Aunque dispone de un modelo territorial para la atención de los Departamentos de Consejería Estudiantil, su diseño no supone que cada establecimiento cuente con un profesional DECE de presencia permanente. La Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI, 2024) establece un máximo de 450 estudiantes por profesional y contempla la atención de instituciones con menor matrícula mediante instituciones educativas núcleo y establecimientos vinculados, de acuerdo con una planificación territorial (arts. 50.6–50.8). En áreas rurales y fronterizas, este modelo debe aplicarse considerando las distancias, las dificultades de acceso y la variación de los riesgos dentro de una misma jurisdicción administrativa.

El diagnóstico participativo del ACNUR (2025), realizado entre noviembre de 2024 y marzo de 2025 con 327 participantes en diez localidades, encontró que las amenazas contra la vida, el reclutamiento, la violencia sexual, el deterioro de la salud mental y el control ejercido por grupos criminales se relacionaban con decisiones de desplazarse o confinarse. El informe también advirtió que las escuelas pueden reproducir desigualdades y violencias presentes en el entorno.

Pocas semanas antes del cierre de la revisión, medios nacionales registraron que niños y docentes de la Unidad Educativa Fiscal 10 de Agosto, en San Lorenzo, tuvieron que tenderse en el piso y refugiarse debajo de los pupitres mientras se desarrollaba un enfrentamiento armado en las inmediaciones del plantel. El hecho ocurrió la mañana del 17 de julio de 2026 y dejó dos personas fallecidas y tres heridas; ningún estudiante ni miembro del personal educativo resultó físicamente afectado. Las imágenes de los niños llorando y de sus docentes tratando de protegerlos mostraron que la violencia del entorno puede ingresar al aula sin atravesar sus puertas.

Ante lo ocurrido, el Ministerio de Educación dispuso que las jornadas vespertina y nocturna continuaran de manera virtual, activó el apoyo emocional de los Departamentos de Consejería Estudiantil y coordinó el refuerzo de la seguridad en los establecimientos educativos del cantón. Posteriormente, el Ministerio del Interior confirmó la detención de una persona presuntamente relacionada con el ataque y anunció medidas adicionales de protección (El Universo, 2026; Primicias, 2026). Este episodio periodístico, corroborado por dos medios independientes, se utiliza aquí para documentar un hecho puntual y no como evidencia científica del marco conceptual.

Esta constatación impide idealizar automáticamente el aula como refugio; más bien, obliga a reconocer que la escuela solo protege cuando dispone de reglas confiables, personal respaldado, protocolos que permitan responder ante amenazas externas, canales seguros de alerta y derivación, apoyo psicosocial y conexiones efectivas con los servicios públicos. Cuando esas condiciones no existen, docentes y estudiantes quedan obligados a enfrentar por sí solos riesgos que exceden la capacidad y la función del sistema educativo.

Desde el enfoque de seguridad humana, la pregunta central no es únicamente cómo controlar amenazas, sino cómo proteger las libertades y capacidades que permiten a las personas vivir con dignidad (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 1994). Aplicado a la educación, este enfoque desplaza la mirada desde la infraestructura escolar hacia la continuidad del aprendizaje, la integridad física y emocional, la pertenencia, la participación y la posibilidad de construir un proyecto de vida. También aclara que la protección no puede depender de una sola profesión: exige

coordinación entre educación, protección infantil, salud, justicia, seguridad, gobiernos locales, familias y organizaciones comunitarias.

### 3.2. Reclutamiento y exclusión educativa

UNICEF (2025) sostiene que el reclutamiento de menores de 18 años por grupos de delincuencia organizada debe comprenderse como forzado, incluso cuando parece existir consentimiento. La pobreza, la violencia, la exclusión, la falta de oportunidades y la ruptura de vínculos protectores restringen la capacidad real de decidir. El estudio identificó modalidades que incluyen tareas de vigilancia, mensajería, venta de sustancias, traslado de objetos, participación en extorsiones y explotación sexual. El riesgo no responde a una causa única; se acumula a través de factores individuales, familiares, comunitarios e institucionales. La evidencia comparada también muestra que la desconexión social puede ser utilizada como mecanismo de explotación criminal infantil (Sheehan et al., 2024).

La exclusión educativa tiene una relación circular con ese proceso. El ausentismo y el abandono reducen el contacto con adultos protectores y amplían el tiempo de exposición a actores criminales. A su vez, las amenazas, el desplazamiento, el miedo al trayecto y la necesidad económica dificultan la asistencia. La escuela puede interrumpir ese ciclo, pero no basta con exigir matrícula o presencia: la permanencia necesita apoyo psicosocial, flexibilidad razonable, recuperación de aprendizajes y respuestas que no estigmaticen a estudiantes en riesgo o ya afectados.

### 3.3. Violencia, desplazamiento y salud mental

La violencia territorial produce efectos aun cuando no ocurre dentro del plantel. Un homicidio cercano, una amenaza a la familia, el desplazamiento de un compañero o un episodio de confinamiento cambia la atención, el comportamiento y la sensación de seguridad. ACNUR (2025) documentó ansiedad, insomnio y angustia asociados al miedo constante. En el aula, esas respuestas pueden aparecer como retraimiento, irritabilidad, ausencias o disminución del rendimiento. Interpretarlas únicamente como indisciplina puede agravar el daño. La conexión escolar y comunitaria puede amortiguar algunos efectos de la adversidad y la violencia sobre la salud mental y otras conductas de riesgo (Berny & Tanner-Smith, 2024; Diggs et al., 2025; Raniti et al., 2022; Rose et al., 2024).

La continuidad educativa aporta rutina, vínculos y previsibilidad, pero el personal docente también está expuesto. UNICEF (2024) alertó sobre amenazas, extorsiones y asesinatos de docentes y directivos en el contexto de violencia armada. Resulta improcedente solicitar a los docentes que investiguen grupos, confronten a reclutadores o mantengan expedientes sensibles sin protección. La obligación institucional es reducir la exposición, es decir, definir qué observar, a quién informar, qué datos no registrar, cómo proteger la confidencialidad y cuándo suspender o adaptar actividades. En contextos afectados por conflicto, los vínculos de apoyo con personas cuidadoras constituyen igualmente un recurso protector (Scharpf et al., 2024).

### 3.4. Riesgos y ciudadanía digital

La vida digital elimina la frontera física del establecimiento. El contacto inicial puede ocurrir mediante perfiles falsos, videojuegos, mensajería o promesas de dinero y pertenencia. La UNESCO (2023) advierte que la tecnología educativa ofrece oportunidades, pero también plantea riesgos de privacidad, exposición a contenidos dañinos, acoso y uso desigual. Para América Latina y el Caribe, Marcus et al. (2026, pp. 34–35) documentan que redes sociales y videojuegos pueden ser utilizados por individuos y grupos delictivos para grooming, chantaje, difusión no consentida de imágenes y otras formas de explotación; el reclutamiento por pandillas también puede comenzar en línea, incluso en plataformas de juego (p. 8). En territorios con control criminal, estas vulnerabilidades digitales pueden conectarse con información local sobre rutinas, familias y trayectos.

La respuesta educativa no puede reducirse a prohibir teléfonos ni responsabilizar al estudiante. La ciudadanía digital protectora exige reconocer tácticas de manipulación, cuidar datos personales, verificar identidades, bloquear y reportar contactos, preservar evidencia sin redistribuir contenido dañino y pedir ayuda a una persona confiable. También requiere explicar, con lenguaje apropiado para la edad, que la amenaza, el engaño, la promesa de beneficios y la presión afectiva pueden operar de forma combinada. Estas competencias deben integrarse en el currículo y la convivencia, con participación familiar y canales de ayuda conocidos, sin simulaciones que expongan al alumnado ni actuaciones que conviertan al docente en perito digital.

La evidencia regional muestra respuestas que combinan denuncia adaptada a la niñez, orientación pública, formación docente, apoyo psicológico y derivación a autoridades competentes. El caso de SaferNet en Brasil ilustra esa articulación, pero no puede trasladarse automáticamente al Ecuador: su adaptación requeriría canales institucionales seguros, protección de datos, coordinación con servicios especializados y evaluación previa de riesgos. El aporte educativo consiste en fortalecer alfabetización crítica, confianza para pedir ayuda y conocimiento de rutas; la investigación técnica y penal corresponde a autoridades competentes (Marcus et al., 2026, pp. 28-39).

### 3.5. Rol docente y límites profesionales

La protección educativa comienza con acciones ordinarias, como notar una ausencia reiterada, escuchar sin interrogar, evitar la humillación o explicar una ruta de ayuda. Su valor reside en la continuidad. Para un estudiante que vive entre mensajes contradictorios o amenazas, encontrar una persona adulta que cumple lo que promete puede reforzar confianza y capacidad de pedir apoyo. La relación docente-estudiante se asocia con pertenencia y bienestar, mientras que los enfoques institucionales de alcance escolar pueden mejorar la convivencia y el clima educativo (Rojas-Andrade et al., 2024; Shephard et al., 2024).

En el Ecuador existe un antecedente pedagógico pertinente. La Guía de Desarrollo Humano Integral propone trabajar de manera sistemática el autoconocimiento, la empatía, el manejo de emociones, la resolución de conflictos y la toma de decisiones como habilidades para la vida (Ministerio de Educación del Ecuador, 2018). Aunque este instrumento no fue diseñado

específicamente para prevenir el reclutamiento por grupos de delincuencia organizada, sus orientaciones pueden fortalecer capacidades personales y relacionales vinculadas con la prevención primaria. Su aplicación en territorios afectados por violencia debe complementarse con protocolos de protección, rutas de derivación y respaldo institucional.

Hay que afirmar que el docente es un actor de seguridad humana, lo que no significa trasladarle la responsabilidad de resolver la violencia. Su papel es pedagógico y protector, lo que abarca prevenir mediante habilidades y vínculos, reconocer indicadores sin diagnosticar, activar rutas sin investigar y documentar solo lo indispensable según el protocolo. La seguridad operativa, la investigación penal, la protección especializada y la atención clínica corresponden a instituciones y profesionales competentes.

La literatura sobre resiliencia recuerda que la adaptación no es una cualidad individual aislada, sino el resultado de interacciones entre personas y sistemas (Masten, 2014). Por ello, celebrar al "docente héroe" puede ocultar fallas institucionales. Un profesor agotado, amenazado o sin ruta de apoyo no puede sostener indefinidamente una función protectora. La formación debe ir acompañada de equipos de consejería, liderazgo escolar, coordinación distrital, respaldo jurídico, medidas de seguridad y cuidado psicosocial. La evidencia sobre crisis y violencia laboral muestra, además, que el bienestar y la seguridad del profesorado requieren apoyo organizacional y procedimientos percibidos como justos (Falk et al., 2022; Longmuir et al., 2025; Moon & McCluskey, 2023).

### 3.6. Marco de cinco capacidades para una docencia protectora

A partir de la evidencia revisada, se propone un marco de cinco capacidades interdependientes. No constituye un protocolo operativo ni reemplaza las rutas oficiales, pero busca contribuir a orientar la formación, planificación y evaluación institucional. La Tabla 2 sintetiza cada capacidad, su fundamento en la evidencia revisada, la acción que habilita, el límite profesional que la acota y el nivel institucional del que depende su respaldo.

La arquitectura de la Figura 2 se construyó en tres momentos analíticos. Primero, la codificación temática permitió agrupar los hallazgos del corpus en condiciones de contexto, capacidades docentes, soportes institucionales y resultados de protección. Segundo, las cinco capacidades se ordenaron como funciones interdependientes, porque la evidencia no sustenta una secuencia lineal. Tercero, cada capacidad se vinculó con los niveles institucionales que pueden habilitarla y delimitarla. La figura representa esa síntesis interpretativa; no constituye una ruta causal comprobada ni un modelo operativo validado.

**Tabla 2**

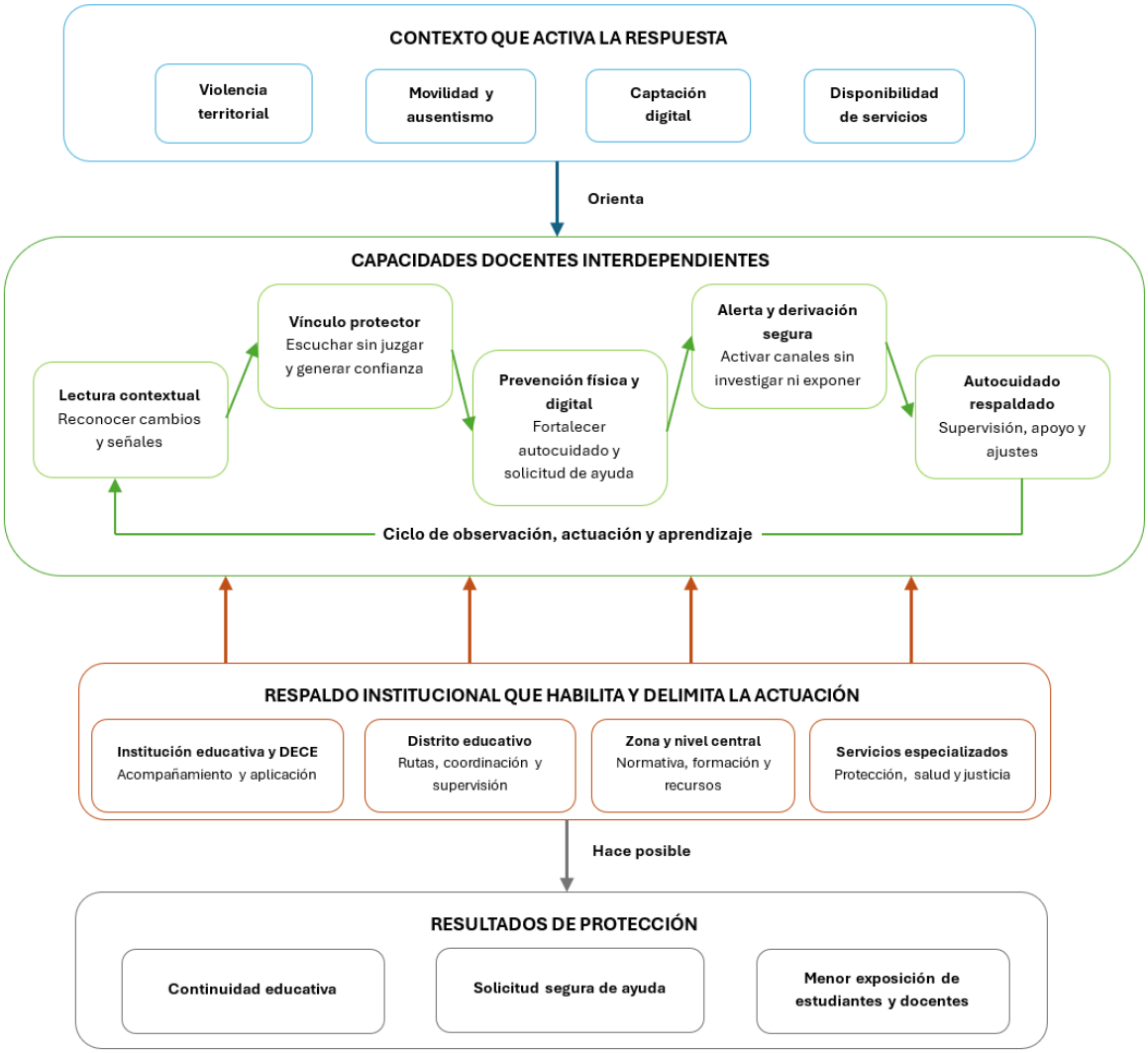
*Síntesis del marco de cinco capacidades para una docencia protectora*

| Capacidad | Fundamento | Acción permitida | Límite profesional | Nivel institucional responsable |
|---|---|---|---|---|
| Lectura contextual | Fragmentación territorial y su efecto sobre movilidad y asistencia (ACNUR, 2025) | Identificar cambios de movilidad, asistencia y funcionamiento comunitario, y actualizar los planes escolares con información autorizada | No perfilar estudiantes ni recopilar inteligencia sobre actores criminales | Institución educativa y distrito |
| Vínculo protector | Adultos confiables como factor protector frente al reclutamiento (UNICEF, 2025) | Escuchar, evitar juicios, sostener rutinas y reconocer señales de malestar o aislamiento | No interrogar, no diagnosticar, no prometer confidencialidad absoluta | Institución educativa |
| Prevención física y digital | Convergencia de riesgos presenciales y en línea (UNESCO, 2023) | Enseñar autocuidado, privacidad, verificación, convivencia y solicitud de ayuda | No confrontar amenazas ni revisar dispositivos sin base legal y protocolo | Institución educativa y distrito |
| Alerta y derivación segura | Necesidad de protección, prevención y respuestas institucionales frente al reclutamiento y las amenazas (UNICEF, 2024) | Conocer responsables, canales, criterios de urgencia y servicios disponibles, y registrar únicamente lo necesario | No investigar hechos ni circular datos sensibles por canales informales | Distrito y servicios de protección |
| Autocuidado respaldado | Resiliencia como resultado de interacciones entre personas y sistemas (Masten, 2014) | Reconocer el estrés, utilizar supervisión y apoyo entre pares, y solicitar ajustes cuando exista exposición | El sacrificio personal no debe presentarse como deber profesional | Distrito y autoridad educativa nacional |

*Nota.* Es una propuesta conceptual no validada empíricamente; no constituye un protocolo oficial ni sustituye la normativa o las rutas ministeriales vigentes. Elaboración propia a partir de la síntesis del corpus.

**Figura 2**

*Arquitectura multinivel para una docencia protectora*




*Nota.* Las capacidades docentes operan de manera interdependiente y requieren respaldos diferenciados de la institución educativa, los Departamentos de Consejería Estudiantil (DECE), el distrito educativo, las coordinaciones zonales, el nivel central y los servicios especializados. Las flechas representan relaciones de orientación, habilitación y contribución a los resultados; no expresan una secuencia rígida ni reproducen un protocolo oficial. Elaboración propia.

## 4. Discusión

El hallazgo principal es que el potencial protector de la escuela depende de una arquitectura institucional alrededor de la función docente. En Ecuador, los informes de UNICEF (2024, 2025) y ACNUR (2025) coinciden en que la violencia letal, la pobreza, el abandono escolar, el desplazamiento, la ruptura de vínculos y la captación se acumulan. Esa convergencia respalda un marco de capacidades interdependientes, pero no prueba su efectividad: el corpus no contiene una evaluación ecuatoriana del modelo propuesto.

La propuesta difiere de enfoques que equiparan prevención con vigilancia. La observación pedagógica sirve para advertir cambios relevantes, pero el etiquetamiento puede estigmatizar

a adolescentes por su barrio, vestimenta, amistades o antecedentes familiares. El principio de no daño exige basar cualquier alerta en hechos observables, compartirla solo con responsables autorizados y preservar la presunción de inocencia.

También exige considerar que un adolescente vinculado a una estructura criminal puede ser, ante todo, víctima de coacción y explotación. En esto, la posición del capítulo se aparta de lecturas que priorizan el control conductual sobre la protección relacional, y se alinea con la lectura de UNICEF (2025) sobre el reclutamiento como fenómeno forzado. Las estrategias de prevención de violencia escolar son más sólidas cuando combinan clima, relaciones y respuestas institucionales consistentes (Cohen et al., 2015).

La integración de la dimensión digital amplía el enfoque original de escuela segura. No se trata de añadir una charla sobre redes sociales, sino de incorporar protección de datos, lectura crítica de mensajes y canales de ayuda en el currículo y la convivencia. Al mismo tiempo, debe evitarse una promesa tecnológica excesiva: monitorear más no equivale automáticamente a proteger mejor y puede vulnerar privacidad o desplazar la confianza. La literatura consultada para este eje es comparativamente más escasa en el contexto ecuatoriano que la relativa a violencia territorial, lo que constituye un vacío de conocimiento identificado en el apartado 4.3.

## 4.1. Particularidades del contexto ecuatoriano

La evidencia internacional presenta una convergencia clara: la pertenencia escolar, las relaciones confiables y el apoyo institucional se asocian con bienestar, permanencia o reducción de riesgos en Australia, Chile, Estados Unidos, la República Democrática del Congo, Sudán del Sur y Uganda (Berny & Tanner-Smith, 2024; Diggs et al., 2025; Longmuir et al., 2025; Rojas-Andrade et al., 2024; Scharpf et al., 2024; Shephard et al., 2024).

Los estudios también coinciden en que la seguridad docente no depende únicamente de habilidades individuales, sino de apoyo organizacional y procedimientos percibidos como justos (Falk et al., 2022; Moon & McCluskey, 2023). Esta convergencia permite identificar principios comparables, aunque no autoriza a asumir que producirán los mismos resultados en Ecuador.

Las divergencias se relacionan con el tipo de violencia y la capacidad institucional. Los estudios sobre clima escolar y salud mental se concentran en vínculos y resultados psicosociales; la investigación irlandesa examina desconexión social y explotación criminal; y los estudios africanos analizan conflicto armado y educación acelerada.

Ninguno de esos contextos reproduce por completo la combinación ecuatoriana de crimen organizado, instituciones operativas pero desiguales, movilidad transfronteriza y variación territorial. Por ello, los hallazgos coincidentes orientan principios analíticos, mientras que los mecanismos de aplicación y sus resultados requieren validación local (Sheehan et al., 2024).

En Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos convergen violencia, control de corredores fronterizos, movilidad transfronteriza, desplazamiento y dificultades de acceso a servicios de protección en determinadas localidades (ACNUR, 2025; UNICEF, 2025). Las condiciones no son homogéneas:

las cabeceras urbanas pueden concentrar servicios, mientras que comunidades rurales, ribereñas o fronterizas enfrentan mayores tiempos de traslado y menor disponibilidad inmediata.

La contextualización también exige considerar la pertinencia cultural y lingüística para comunidades afroecuatorianas, indígenas y migrantes, sin asumir que pertenecer a uno de estos grupos constituye por sí mismo un indicador de riesgo.

El sistema educativo ecuatoriano opera mediante un modelo de gestión desconcentrada en zonas y distritos, conforme a la organización establecida en la normativa educativa nacional (LOEI, 2024). Debido a que las dinámicas de violencia pueden variar dentro de una misma jurisdicción administrativa, la aplicación de las políticas nacionales de protección puede beneficiarse de análisis territoriales periódicos y capacidad de adaptación en los niveles distrital y zonal.

En ese marco, los resultados permiten considerar el fortalecimiento de la retroalimentación entre instituciones educativas, distritos, coordinaciones zonales y nivel central para revisar las medidas de protección cuando cambien las amenazas. Estas particularidades justifican contextualizar los hallazgos internacionales antes de incorporarlos a la formación docente o a las rutas locales de derivación.

### 4.2. Implicaciones institucionales

Los hallazgos anteriores permiten derivar implicaciones para distintos niveles de decisión. En el nivel nacional y zonal, podría ser pertinente considerar una formación docente diferenciada según el riesgo territorial, con contenidos sobre seguridad humana, indicadores observables, apoyo psicosocial inicial sin intervención clínica, riesgos digitales, confidencialidad y rutas de derivación.

La evidencia sugiere revisar esos contenidos cuando cambien las amenazas o la disponibilidad de servicios. Esta formulación no implica establecer un currículo obligatorio, sino identificar ámbitos que podrían examinarse mediante procesos de formación situada y evaluación previa.

En el nivel distrital, los resultados permiten inferir la utilidad potencial de un mapa funcional de derivación que identifique responsables, horarios, canales seguros y alternativas cuando un servicio no responda. Las rutas escritas pierden utilidad si el docente desconoce quién recibe el caso o teme represalias por informar.

En las instituciones educativas, sería recomendable analizar la aplicación del principio de mínima información necesaria. Desde esta perspectiva, los detalles sensibles evitarían circular por grupos informales de mensajería, actas abiertas o conversaciones no autorizadas, y la protección de quien reporta formaría parte de la valoración institucional.

Las estrategias de permanencia podrían considerar una atención prioritaria a estudiantes con ausencias reiteradas, desplazamiento reciente, sobreedad o ruptura de redes de cuidado, sin etiquetarlos como potenciales infractores. Tutorías, recuperación flexible, alimentación y acompañamiento psicosocial son alternativas que podrían reducir factores de exposición dentro de una respuesta intersectorial.

Del mismo modo, resultaría pertinente examinar el bienestar docente como condición de la protección escolar. Supervisión, pausas, apoyo psicosocial confidencial, mecanismos de sustitución y criterios institucionales para adaptar la modalidad educativa son opciones que requieren valoración según el nivel de riesgo y los recursos disponibles.

Estas implicaciones dependen de una gobernanza interinstitucional explícita. La evidencia sugiere diferenciar las responsabilidades de la institución educativa, el distrito, los DECE y los servicios de protección, salud, justicia y seguridad.

Esa distribución permitiría separar la prevención pedagógica y el acompañamiento escolar de la protección especializada y la investigación penal. Su viabilidad, sin embargo, dependería de acuerdos operativos, recursos y capacidades que este estudio no evalúa.

En 2024, el programa Comunidades Educativas Seguras y Protectoras benefició a más de 1.300 niños, niñas y adolescentes, y más de 2.700 cuidadores y docentes recibieron formación en crianza positiva y entornos seguros y resilientes (Naciones Unidas en Ecuador, 2025). La experiencia ofrece un antecedente pertinente de articulación, aunque los datos disponibles no permiten atribuir efectos causales ni asumir sostenibilidad territorial.

### 4.3. Tensiones críticas de implementación

La ampliación de responsabilidades preventivas puede sobrecargar al docente, desplazar tiempo pedagógico y normalizar la expectativa de disponibilidad permanente. El riesgo aumenta cuando la formación no incluye reducción de carga, supervisión y decisiones institucionales sobre cuándo suspender o adaptar actividades. Una política que enumera nuevas obligaciones sin asignar recursos puede aumentar la exposición que pretende reducir.

Las rutas de derivación también pueden burocratizarse. Formularios extensos, múltiples autorizaciones y ausencia de respuesta desalientan el reporte y pueden obligar a repetir información sensible. Una ruta funcional procuraría registrar solo lo necesario, confirmar la recepción, establecer tiempos de respuesta y proteger a quien informa. En establecimientos con recursos limitados o presencia estatal reducida, sería pertinente prever alternativas seguras cuando el servicio principal no esté disponible; de lo contrario, el protocolo puede existir en el papel sin modificar la capacidad real de protección.

### 4.4. Aplicación progresiva y evaluación institucional

Los resultados permiten plantear que una eventual aplicación del marco podría comenzar como piloto institucional y no como obligación general. En una primera fase, el distrito y cada establecimiento seleccionado levantarían una línea de base sobre rutas vigentes, cobertura DECE, canales de alerta, tiempos de respuesta y percepción de respaldo docente. La segunda fase incluiría formación situada mediante casos, límites profesionales y ejercicios de derivación sin datos reales. En la tercera fase, el modelo se aplicaría durante un periodo definido con supervisión distrital; la cuarta fase evaluaría su factibilidad, seguridad, carga laboral y resultados antes de considerar una ampliación.

La evidencia revisada sugiere diferenciar las competencias de formación según las funciones institucionales. El personal docente podría concentrarse en reconocer señales observables, sostener una escucha inicial y conocer la ruta; los equipos directivos y DECE, en gestión de casos, protección de datos y coordinación; y los distritos, en análisis territorial, actualización de servicios y mecanismos de respaldo. Una evaluación inicial debería evitar medir cuántos estudiantes fueron "detectados", porque ese indicador podría incentivar el perfilamiento. Resultaría más prudente observar capacidades institucionales, oportunidad de respuesta, continuidad educativa, percepción de seguridad y ausencia de daños atribuibles al procedimiento (véase la Tabla 3).

**Tabla 3**

*Indicadores propuestos para una aplicación piloto*

| Dimensión | Indicador institucional | Fuente de verificación | Criterio de cautela |
|---|---|---|---|
| Preparación | Porcentaje de personal formado y con ruta vigente | Registros de formación y revisión documental | No confundir asistencia con competencia |
| Derivación | Proporción de alertas con recepción confirmada y respuesta dentro del plazo local | Registro anonimizado de ruta | Aplicar mínima información necesaria |
| Continuidad | Asistencia y reintegración después de una situación de riesgo | Registros educativos agregados | No atribuir causalidad sin diseño evaluativo |
| Bienestar docente | Percepción de respaldo, carga y seguridad | Encuesta confidencial y supervisión | No usar resultados para sanción individual |
| Seguridad del proceso | Incidentes de exposición, filtración o represalia asociados con la ruta | Revisión protegida de incidentes | Suspender y corregir si aparecen daños |

*Nota.* Estos indicadores conceptuales para el pilotaje requieren una definición operativa, una línea de base y procedimientos de validación antes de su aplicación. Elaboración propia.

### 4.5. Limitaciones y vacíos

Esta revisión no estima la prevalencia del reclutamiento ni permite atribuir causalidad entre violencia, abandono escolar y captación. La ausencia de estadísticas nacionales públicas y desagregadas limita la comparación territorial. El diseño narrativo, la falta de un registro prospectivo del número inicial de resultados y la ausencia de una escala formal de riesgo de sesgo reducen la reproducibilidad. El corpus combina fuentes de distinta naturaleza y depende en medida importante de informes institucionales; por ello, sus hallazgos deben interpretarse como una síntesis conceptual, no como una estimación de efectividad.

La rápida evolución de las dinámicas criminales y de los mecanismos digitales de captación constituye una limitación temporal adicional. Las plataformas, lenguajes, formas de contacto y patrones territoriales pueden cambiar con mayor rapidez que la producción de evidencia y la actualización de las respuestas educativas; por ello, algunas condiciones descritas podrían perder vigencia o requerir reinterpretación en periodos breves.

La evidencia específica sobre captación digital en Ecuador sigue siendo limitada y el análisis diferencial por edad, género, discapacidad, pertenencia étnica, condición migratoria y ruralidad es insuficiente. Se requieren estudios con participación segura de docentes, estudiantes y familias.

## 5. Conclusiones

Primera. La escuela cumple una función protectora en territorios fragmentados por violencia criminal en la medida en que sostiene continuidad, pertenencia, aprendizaje y acceso a personas adultas confiables; esa función se vuelve más relevante cuando la violencia, el desplazamiento, la exclusión y la captación digital reducen las alternativas de niños, niñas y adolescentes.

Segunda. El rol docente tiene límites profesionales claros: puede prevenir, reconocer señales y activar apoyos, pero no debe investigar redes criminales, confrontar amenazas ni sustituir a profesionales de protección, salud o justicia; la frontera entre acompañar y exponerse debe quedar definida en protocolos, respaldos y decisiones institucionales, no librada al criterio individual.

Tercera. El potencial protector de la docencia depende de una arquitectura institucional (formación diferenciada, rutas de derivación funcionales, principio de mínima información necesaria y bienestar docente respaldado) y no de la disposición personal de cada profesional; sin esa arquitectura, la protección se traslada indebidamente a personas expuestas y sin respaldo suficiente.

Cuarta. La protección escolar contemporánea debe incorporar la dimensión digital como parte constitutiva del entorno de riesgo, no como un anexo temático; ello implica trabajar protección de datos, verificación de identidades y canales de ayuda dentro del currículo y la convivencia escolar, evitando tanto la prohibición simple como la vigilancia tecnológica excesiva.

Quinta. La agenda de investigación incluye validar el marco mediante pilotos situados, evaluar seguridad, carga docente, funcionamiento de las rutas y continuidad educativa, y producir evidencia específica sobre captación digital en Ecuador. También se requieren análisis diferenciales por edad, género, discapacidad, pertenencia étnica, condición migratoria y ruralidad. Hasta contar con esa evidencia, las cinco capacidades deben entenderse como una propuesta conceptual para orientar investigación y planificación, no como un estándar oficial de desempeño docente.

## Referencias bibliográficas

Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados. (2025). *Aproximación a la comprensión de la situación de desplazamiento forzado o confinamiento de las personas refugiadas, migrantes y de población de acogida en el marco del contexto de inseguridad, criminalidad y violencias en el Ecuador*. https://www.acnur.org/sites/default/files/2025-08/desplazamiento-forzado-confinamiento-ecuador-2025.pdf

Berny, L. M., & Tanner-Smith, E. E. (2024). Interpersonal violence and suicide risk: Examining buffering effects of school and community connectedness. *Children and Youth Services Review, 157*, Artículo 107405. https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2023.107405

Cohen, J., Espelage, D. L., Twemlow, S. W., Berkowitz, M. W., & Comer, J. P. (2015). Rethinking effective bully and violence prevention efforts: Promoting healthy school climates, positive youth development, and preventing bully-victim-bystander behavior. *International Journal of Violence and Schools*, *15*, 2–40.

Diggs, D., Deniz, E., & Toseeb, U. (2025). School connectedness as a protective factor between childhood adversity and adolescent mental health outcomes. *Development and Psychopathology, 37*(3), 1355–1373. https://doi.org/10.1017/S0954579424001184

El Universo. (2026, 21 de julio). *Gobierno refuerza la seguridad tras ataque armado cerca de plantel educativo de San Lorenzo.* https://www.eluniverso.com/noticias/seguridad/john-reimberg-anuncia-refuerzo-de-seguridad-en-san-lorenzo-tras-balacera-en-esmeraldas-nota/

Falk, D., Shephard, D., & Mendenhall, M. (2022). "I always take their problem as mine": Understanding the relationship between teacher-student relationships and teacher well-being in crisis contexts. *International Journal of Educational Development, 95*, Artículo 102670. https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2022.102670

Ferrari, R. (2015). Writing narrative style literature reviews. *Medical Writing, 24*(4), 230–235. https://doi.org/10.1179/2047480615Z.000000000329

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2024, 15 de enero). *Ecuador: La tasa de homicidios de niños, niñas y adolescentes aumentó en un 640 por ciento en cuatro años.* https://www.unicef.org/ecuador/comunicados-prensa/ecuador-la-tasa-de-homicidios-de-ni%C3%B1os-ni%C3%B1as-y-adolescentes-aument%C3%B3-en-un-640

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2025). *Aproximación al reclutamiento de niños, niñas y adolescentes en Ecuador*. https://www.unicef.org/ecuador/media/16576/file/Aproximaci%C3%B3n%20al%20reclutamiento%20de%20ni%C3%B1os%2C%20ni%C3%B1as%20y%20adolescentes%20en%20Ecuador.pdf

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2026). *Anexo B: Términos de referencia LRPS 2026-9204554. Monitoreo del proyecto de acción humanitaria integrada para fortalecer la protección a la infancia y la continuidad educativa para niños, niñas y adolescentes afectados y en riesgo por contextos de conflicto, violencia armada y otras emergencias en Ecuador*. https://www.unicef.org/ecuador/media/18451/file

Ley Orgánica de Educación Intercultural, Registro Oficial, Quinto Suplemento No. 689 (2024). https://www.registroficial.gob.ec/quinto-suplemento-al-registro-oficial-no-689/

Longmuir, F., McKay, A., Gallo Cordoba, B., Allen, K.-A., & Phillips, M. (2025). Australian teachers' perceptions of safety, violence and limited support in their workplaces. *Journal of School Violence, 24*(1), 1–20. https://doi.org/10.1080/15388220.2024.2385893

Marcus, R., León-Himmelstine, C., Jiménez Thomas Rodríguez, D., & Pereznieto, P. (2026). *Violencia contra niñas, niños y adolescentes en América Latina y el Caribe: Nuevos datos y soluciones.* Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia y Organización Panamericana de la Salud. https://www.unicef.org/lac/en/media/53551/file/REPORTE%20Violencia%20contra%20ni%C3%B1as,%20ni%C3%B1os%20y%20adolescentes.pdf

Masten, A. S. (2014). *Ordinary magic: Resilience in development.* Guilford Press.

Ministerio de Educación del Ecuador. (2018). *Guía de desarrollo humano integral: Dirigida a docentes para la implementación de habilidades para la vida en el Sistema Nacional Educativo.* https://recursos.educacion.gob.ec/wp-content/uploads/2023/ovp/GUIA%20DE%20DESARROLLO%20HUMANO%20INTEGRAL.pdf

Moon, B., & McCluskey, J. (2023). Aggression toward teachers and negative consequences: The moderating effects of procedural justice. *Victims & Offenders, 18*(6), 1030–1045. https://doi.org/10.1080/15564886.2022.2062080

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (A/RES/70/1).* https://sdgs.un.org/2030agenda

Naciones Unidas en Ecuador. (2025). *Reporte anual 2024.* https://ecuador.un.org/sites/default/files/2025-04/REPORTE%20ANUAL%202024%20interactivo_0.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2023). *Global education monitoring report 2023: Technology in education—A tool on whose terms?* https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723

Primicias. (2026, 17 de julio). *Ministerio de Educación califica de "inadmisible" la balacera en los exteriores de una escuela de Esmeraldas.* https://www.primicias.ec/sucesos/balacera-escuela-esmeraldas-enfrentamiento-bandas-san-lorenzo-ministerio-educacion-128235/

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (1994). *Informe sobre desarrollo humano 1994.* Fondo de Cultura Económica.

Raniti, M., Rakesh, D., Patton, G. C., & Sawyer, S. M. (2022). The role of school connectedness in the prevention of youth depression and anxiety: A systematic review with youth consultation. *BMC Public Health, 22*, Artículo 2152. https://doi.org/10.1186/s12889-022-14364-6

Rojas-Andrade, R., Lopez Leiva, V., Varela, J. J., Soto García, P., Álvarez, J. P., & Ramirez, M. T. (2024). Feasibility, acceptability, and appropriability of a national whole-school program for reducing school violence and improving school coexistence. *Frontiers in Psychology, 15*, Artículo 1395990. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1395990

Rose, I. D., Lesesne, C. A., Sun, J., Johns, M. M., Zhang, X., & Hertz, M. (2024). The relationship of school connectedness to adolescents' engagement in co-occurring health risks: A meta-analytic review. *The Journal of School Nursing, 40*(1), 58–73. https://doi.org/10.1177/10598405221096802

Scharpf, F., Haer, R., & Hecker, T. (2024). Close relationships with caregivers as protective factor for the mental health and functioning of war-affected Congolese youth. *Conflict and Health, 18*, Artículo 65. https://doi.org/10.1186/s13031-024-00624-2

Sheehan, K., Walsh, C., & Cusack, A. (2024). "It's a group-on-one": Social disconnection as a tool of and defence against child criminal exploitation in the Republic of Ireland. *Crime Prevention and Community Safety, 26*(3), 266–284. https://doi.org/10.1057/s41300-024-00216-5

Shephard, D., Falk, D., & Mendenhall, M. (2024). "My teachers make me feel alive": The contribution of student-teacher relationships to student well-being in accelerated education programmes in South Sudan and Uganda. *Compare: A Journal of Comparative and International Education, 54*(6), 1021–1039. https://doi.org/10.1080/03057925.2023.2170168

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing, 52*(5), 546–553. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

CAPÍTULO 8

# Más allá de la interculturalidad declarativa: profundidad epistemológica de la incorporación del conocimiento indígena en los currículos priorizados 2025 del Ecuador

*Beyond declarative interculturality: epistemological depth of indigenous knowledge incorporation in Ecuador's 2025 prioritized curricula*

1 **Carlos Marcelo Molina Colcha**
*Candidato a Ph.D.*
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
cmmolina11@utpl.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-1839-3741

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_8 RECIBIDO 09/09/2026 | ACEPTADO 13/10/2026

## RESUMEN

El objetivo fue analizar los niveles de profundidad epistemológica con que la interculturalidad, la dimensión comunitaria y los conocimientos indígenas se incorporan en los currículos priorizados 2025 del Ecuador, identificando el camino desde el reconocimiento lingüístico y cultural hasta el conocimiento aplicable y la posible coproducción curricular comunitaria. Se desarrolló una investigación cualitativa de análisis documental sobre seis instrumentos oficiales: Educación Inicial (3-5 años), Preparatoria, Educación General Básica Elemental, Media y Superior, y Bachillerato General. Mediante análisis cualitativo de contenido se codificaron fundamentos, objetivos, destrezas, criterios de evaluación, indicadores y orientaciones metodológicas. Se construyó una tipología de cinco niveles de inclusión: lengua, cultura, saber ancestral, conocimiento aplicable y conocimiento coproductivo comunitario; el MOSEIB se utilizó como referente analítico de contraste. Los resultados muestran una presencia consistente de lenguas, diversidad cultural y saberes ancestrales, así como evidencias de conocimiento indígena aplicado en ciencias naturales, matemática y filosofía. Sin embargo, los documentos analizados presentan menor explicitación de mecanismos mediante los cuales comunidades, sabios u otros actores territoriales participan como productores, transmisores o validadores del conocimiento curricular. Este resultado se restringe al currículo prescrito y no permite determinar la existencia o ausencia de procesos de coproducción desarrollados fuera de los documentos estudiados. Se concluye que los currículos priorizados superan una inclusión exclusivamente declarativa, pero evidencian, en el plano documental, una discontinuidad entre reconocimiento epistemológico y explicitación de mecanismos de coproducción comunitaria. El aporte original es doble: en el plano metodológico, se propone una matriz ordinal preliminar P1-P5 para diferenciar presencia temática, estatus del conocimiento, función epistemológica y autoridad comunitaria; en el plano analítico, se identifica una discontinuidad documental entre la utilización cognitiva o aplicada de conocimientos indígenas y la

explicitación de mecanismos de coproducción comunitaria. La propuesta requiere validación externa antes de asumir su transferibilidad a otros corpus curriculares.

**Palabras clave:** educación intercultural, currículo, conocimientos indígenas, educación comunitaria, investigación sobre el currículo

**ABSTRACT**

The objective was to analyze the levels of epistemological depth with which interculturality, the community dimension, and Indigenous knowledge are incorporated into Ecuador's 2025 prioritized curricula, identifying the path from linguistic and cultural recognition to applicable knowledge and the potential for community-based curricular co-production. A qualitative documentary study was conducted on six official curricular instruments: Early Childhood Education (ages 3-5), Preparatory Education, Elementary, Middle, and Upper Basic General Education, and General Baccalaureate. Through qualitative content analysis, curricular foundations, objectives, skills, assessment criteria, indicators, and methodological guidelines were coded. A five-level typology of inclusion was developed: language, culture, ancestral knowledge, applicable knowledge, and community co-produced knowledge; the MOSEIB was used as an analytical benchmark for contrast. The results show a consistent presence of Indigenous languages, cultural diversity, and ancestral knowledge, as well as evidence of applied Indigenous knowledge in natural sciences, mathematics, and philosophy. However, the documents analyzed provide less explicit specification of mechanisms through which communities, knowledge holders, or other territorial actors participate as producers, transmitters, or validators of curricular knowledge. This finding is limited to the prescribed curriculum and does not establish the presence or absence of co-production processes developed outside the documents examined. It is concluded that the prioritized curricula go beyond exclusively declarative inclusion but reveal, at the documentary level, a discontinuity between epistemological recognition and the explicit specification of community co-production mechanisms. The original contribution is twofold: methodologically, the study proposes a preliminary ordinal P1-P5 matrix to distinguish thematic presence, knowledge status, epistemological function, and community authority; analytically, it identifies a documentary discontinuity between the cognitive or applied use of Indigenous knowledge and the explicit specification of community co-production mechanisms. The proposal requires external validation before its transferability to other curricular corpora can be assumed.

**Keywords:** intercultural education, curriculum, indigenous knowledge, community education, curriculum research

## 1. Introducción

La interculturalidad es un elemento central en la educación ecuatoriana. La Constitución de la República del Ecuador (2008) define a la educación como intercultural, incluyente y diversa, y establece que el Sistema Nacional de Educación debe integrar una visión intercultural en consonancia con la pluralidad territorial, cultural y lingüística del país. La Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI, 2024), a su vez, reconoce la contextualización curricular y la posibilidad de complementar el currículo nacional según las especificidades culturales y comunitarias. En los currículos priorizados 2025, estas disposiciones se reproducen como fundamento jurídico y se articulan con una propuesta orientada a competencias comunicacionales,

matemáticas, digitales y socioemocionales, además de nuevas inserciones curriculares (Ministerio de Educación, Deporte y Cultura [MEDC], 2025a, 2025b, 2025c, 2025d, 2025e, 2025f).

La existencia de un mandato intercultural, sin embargo, no resuelve por sí misma la cuestión curricular. La trayectoria latinoamericana de la educación intercultural bilingüe (EIB) muestra un camino desde políticas inicialmente focalizadas en poblaciones indígenas hacia debates más amplios sobre la interculturalización de los sistemas educativos.

El análisis regional de López y Küper (1999) ya advertía que la ampliación de la EIB debía superar respuestas compensatorias y lingüísticas aisladas; casi dos décadas después, Corbetta et al. (2018) identificaron como desafío regional la transversalización de la interculturalidad en los distintos niveles del sistema, y UNESCO (2019) subrayó que el reconocimiento normativo de lenguas y culturas no elimina las brechas de participación comunitaria, formación docente y diálogo entre sistemas de conocimiento. Esta literatura desplaza la pregunta desde si la diversidad está nombrada hacia cómo se institucionaliza en el currículo y en las relaciones pedagógicas.

En el plano epistemológico, la discusión latinoamericana converge con una literatura internacional que cuestiona la supuesta neutralidad cultural del conocimiento escolar. Aikenhead y Ogawa (2007) distinguen formas culturalmente situadas de comprender y vivir la naturaleza; Bang y Medin (2010) proponen que la educación científica permita navegar entre múltiples epistemologías; y Barnhardt y Kawagley (2005) sostienen que los sistemas indígenas de conocimiento deben desplazarse desde los márgenes hacia el centro de los procesos educativos. En América Latina, este debate adquiere particular relevancia porque la interculturalidad se desarrolla en sistemas educativos atravesados por historias coloniales, desigualdades lingüísticas y currículos nacionales estandarizados.

Por ello, la incorporación de un contenido indígena no puede asumirse automáticamente como reconocimiento epistemológico: es necesario examinar qué función cumple ese conocimiento, qué autoridad se le atribuye y quién interviene en su producción y validación. Esta discusión se vincula además con la justicia cognitiva de Santos (2015), que problematiza las jerarquías entre formas de conocer, y con Smith (2021), quien plantea que la descolonización exige transformar las relaciones de autoridad mediante las cuales los pueblos indígenas son investigados y representados.

En este estudio, la profundidad epistemológica se entiende como el grado cualitativo en que el currículo atribuye a los conocimientos indígenas una función que trasciende su mera presencia temática o cultural. Esta profundidad aumenta cuando el conocimiento pasa de ser objeto de reconocimiento lingüístico o cultural a ser reconocido como conocimiento propio, utilizado en operaciones cognitivas o aplicadas y, finalmente, vinculado con la participación de sus portadores colectivos en procesos de producción, transmisión, validación o decisión curricular.

La noción no expresa una medida cuantitativa ni presupone una superioridad intrínseca entre formas de conocimiento; constituye una categoría analítica orientada a examinar qué función curricular adquiere el conocimiento indígena y qué grado de autoridad epistemológica es reconocido a los sujetos vinculados con su producción. Esta interpretación se sustenta en perspectivas que cuestionan la neutralidad cultural del conocimiento escolar y reconocen la

coexistencia de múltiples formas de conocer (Aikenhead & Ogawa, 2007; Bang & Medin, 2010; Barnhardt & Kawagley, 2005).

Desde esta perspectiva, considerar a una comunidad como sujeto epistemológico implica reconocer que sus integrantes y estructuras colectivas no constituyen únicamente fuentes de información, contextos culturales o destinatarios de la educación, sino actores con capacidad socialmente situada para producir, transmitir, interpretar, contrastar y validar conocimientos. Esta condición supone diferenciar entre utilizar contenidos procedentes de una comunidad y reconocer alguna forma de autoridad a quienes sostienen, recrean y transmiten esos conocimientos.

En términos curriculares, dicha distinción resulta central: un currículo puede incorporar saberes indígenas sin modificar necesariamente las relaciones mediante las cuales se decide qué conocimientos son legítimos, quién puede interpretarlos y bajo qué criterios se incorporan al proceso educativo. Esta lectura dialoga con la justicia cognitiva de Santos (2015), con el cuestionamiento de las relaciones de autoridad planteado por Smith (2021) y con las perspectivas que reconocen los sistemas indígenas de conocimiento como construcciones vinculadas con comunidades, territorios y prácticas culturales específicas (Barnhardt & Kawagley, 2005).

Los estudios recientes refuerzan esta necesidad. En Chile, Arias-Ortega et al. (2019) identifican limitaciones epistemológicas de la EIB mapuche y proponen coconstruir materiales con docentes, familias y comunidad, incorporar métodos educativos propios y desarrollar investigación situada en comunidad, familia y escuela. Una revisión sistemática sobre educación rural bilingüe latinoamericana encontró que las políticas y currículos suelen enfrentar problemas de contextualización y que la participación comunitaria es un componente recurrentemente señalado para hacer efectiva la interculturalidad (Duque Salazar et al., 2024).

Más recientemente, la revisión de prácticas pedagógicas interculturales en Chile y Perú de Chiappa et al. (2025) distingue entre prácticas que solo reconocen diferencias culturales y aquellas que fortalecen lenguas y conocimientos indígenas, incorporan saberes al currículo o incluso cuestionan el currículo oficial. Estos antecedentes sugieren que la interculturalidad no es una condición dicotómica, sino un continuo de profundidad curricular y epistemológica.

En el plano internacional, investigaciones recientes amplían este debate más allá de América Latina. En Australia, Burgess et al. (2022) cuestionan que los conocimientos aborígenes operen como un añadido al currículo y muestran el potencial de experiencias de aprendizaje centradas en Country y lideradas por educadores comunitarios; Thorpe et al. (2024) proponen posicionar el aprendizaje centrado en Country como fundamento curricular y pedagógico; y Thompson et al. (2024) advierten que la propia estructura curricular puede subordinar los conocimientos indígenas a marcos disciplinares occidentales.

En Sudáfrica, Mpuangnan y Ntombela (2024) destacan la relevancia de incorporar voces y conocimientos comunitarios en los procesos de desarrollo curricular. En conjunto, estos trabajos refuerzan la necesidad de analizar no solo la presencia de contenidos indígenas o locales, sino

también su posición dentro de la arquitectura curricular y el grado de participación reconocido a las comunidades.

El caso ecuatoriano agrega una tensión específica entre reconocimiento estatal y autonomía epistémica. El Sistema de Educación Intercultural Bilingüe constituye una experiencia institucional de larga trayectoria; sin embargo, la investigación etnográfica de Limerick (2024) muestra que la recuperación de Kichwa dentro de estructuras estatales se enfrenta a exigencias administrativas, estandarización y expectativas institucionales que pueden limitar los proyectos de revitalización lingüística.

Al mismo tiempo, el MOSEIB ofrece un referente normativo-pedagógico distinto: concibe la lengua como medio de producción de sabiduría, conocimiento, ciencia y tecnología; incorpora conocimientos de cada cultura; organiza la educación desde la familia y la comunidad; y dispone la participación de actores comunitarios en procesos educativos, planificación y evaluación (Ministerio de Educación, 2013). Históricamente, la Educación Infantil Familiar Comunitaria fue construida con aportes de ancianos, sabios, parteras y líderes comunitarios. El contraste permite diferenciar entre comunidad como contexto y comunidad como sujeto epistemológico.

A pesar de estos avances, persiste un vacío analítico. Los estudios regionales han documentado reconocimiento lingüístico, políticas de EIB, tensiones de implementación, contextualización y participación comunitaria; sin embargo, la literatura revisada ofrece menor desarrollo de instrumentos analíticos que permitan distinguir sistemáticamente entre reconocimiento lingüístico, presencia cultural, reconocimiento de saberes, función epistemológica aplicada y coproducción comunitaria dentro de currículos nacionales no específicos de EIB. Las interpretaciones dicotómicas presencia/ausencia de interculturalidad o inclusión/exclusión de saberes resultan insuficientes para documentos que pueden contener simultáneamente lenguas originarias, manifestaciones culturales, saberes ancestrales, usos científicos aplicados y referencias a la comunidad.

El problema científico consiste, por tanto, en determinar el estatus epistemológico asignado a esas incorporaciones e identificar si la aceptación de un saber está vinculada al respeto y validación del colectivo que lo produce. En consecuencia, el vacío no radica únicamente en determinar si los conocimientos indígenas están presentes o ausentes en el currículo, sino en disponer de un procedimiento analítico capaz de diferenciar el estatus que adquieren, la función que cumplen y la autoridad epistemológica reconocida a los sujetos vinculados con su producción.

A partir de esta distinción, la profundidad epistemológica puede analizarse mediante dos ejes complementarios: la función asignada al conocimiento indígena dentro del currículo y la autoridad reconocida a los sujetos vinculados con ese conocimiento. El primer eje permite distinguir entre presencia, reconocimiento y utilización cognitiva o aplicada; el segundo permite identificar si la comunidad permanece como contexto educativo o adquiere una participación explícita en la producción, transmisión, validación o decisión sobre el conocimiento curricular. Estos dos ejes constituyen la base conceptual de la tipología P1-P5 desarrollada en el estudio.

La pregunta de investigación fue: ¿qué niveles de profundidad epistemológica alcanza la incorporación de la interculturalidad, la dimensión comunitaria y los conocimientos indígenas en los currículos priorizados de 2025 del Ecuador, y en qué medida estos reconocen a las comunidades y actores indígenas como sujetos coproductores del conocimiento curricular? El objetivo fue analizar los niveles de profundidad epistemológica con que la interculturalidad, la dimensión comunitaria y los conocimientos indígenas se incorporan en los currículos priorizados de 2025 del Ecuador, identificando el camino desde el reconocimiento lingüístico y cultural hasta el conocimiento aplicable y la posible coproducción curricular comunitaria.

Como proposición analítica se planteó que los currículos incorporarían de manera verificable lenguas, culturas y saberes ancestrales, e incluso usos aplicados de determinados conocimientos indígenas, pero que la inclusión sería menos sistemática al examinar mecanismos de coproducción con comunidades, sabios y actores territoriales. La originalidad del estudio se expresa en dos contribuciones complementarias.

En el plano metodológico, se propone una tipología ordinal preliminar de cinco niveles P1 Lengua, P2 Cultura, P3 Saber ancestral, P4 Conocimiento aplicable y P5 Conocimiento coproductivo comunitario acompañada de definiciones operacionales y reglas de decisión orientadas a diferenciar presencia temática, estatus del conocimiento, función epistemológica y autoridad comunitaria dentro del currículo prescrito. Esta propuesta busca superar lecturas binarias de inclusión/exclusión y ofrecer un procedimiento analítico trazable para examinar distintas formas de incorporación del conocimiento indígena. En el plano analítico, el estudio identifica en los currículos priorizados ecuatorianos una transición desde el reconocimiento lingüístico y cultural hacia formas de utilización cognitiva y aplicada del conocimiento indígena, junto con una menor explicitación documental de mecanismos de autoridad epistemológica comunitaria.

Este segundo aporte permite caracterizar no solo qué contenidos indígenas aparecen, sino qué función curricular adquieren y hasta dónde se formaliza la participación de sus portadores colectivos. Ambas contribuciones deben interpretarse dentro del alcance documental y exploratorio del estudio: la tipología constituye una propuesta analítica en desarrollo, cuya estabilidad, capacidad discriminante y transferibilidad deberán examinarse mediante validación externa y aplicación en corpus independientes.

## 2. Métodos

### 2.1. Diseño de investigación

Se desarrolló un estudio cualitativo, documental, descriptivo-interpretativo, mediante análisis cualitativo de contenido. Este enfoque es pertinente cuando el propósito consiste en identificar, clasificar e interpretar patrones de significado dentro de documentos institucionales a partir de un marco de codificación explícito (Schreier, 2012). La lógica analítica combinó categorías deductivas, derivadas del problema y del marco conceptual, con refinamientos inductivos

emergentes durante la lectura del corpus. El análisis no pretendió evaluar la implementación de los currículos en las aulas, sino examinar el diseño curricular oficial y el estatus que este asigna a la interculturalidad, la comunidad y los conocimientos indígenas.

El objeto empírico del estudio se restringe al currículo prescrito, entendido como el conjunto de disposiciones, objetivos, destrezas, criterios, indicadores y orientaciones formalmente expresados en los documentos curriculares oficiales. En consecuencia, el análisis no permite establecer cómo estos contenidos son interpretados, desarrollados o transformados en la práctica pedagógica, ni permite evaluar materiales didácticos, planificación docente, procesos de aula, evaluación educativa o formas de participación comunitaria que puedan producirse durante la implementación. Los resultados deben interpretarse, por tanto, como características del diseño curricular documental y no como evidencia directa de las prácticas educativas efectivamente desarrolladas.

## 2.2. Corpus documental, criterios de inclusión y exclusión

El universo documental estuvo constituido por los instrumentos curriculares oficiales vigentes del Ministerio de Educación, Deporte y Cultura del Ecuador correspondientes a los niveles y subniveles objeto de análisis. A partir de este universo se conformó un corpus documental mediante muestreo intencional por criterio, seleccionando los documentos que cumplían simultáneamente con las siguientes condiciones: a) ser instrumentos curriculares nacionales oficiales vigentes para 2025; b) corresponder a Educación Inicial, Preparatoria, Educación General Básica o Bachillerato General; y c) contener componentes operativos susceptibles de análisis, tales como fundamentos, objetivos, destrezas con criterios de desempeño, criterios de evaluación, indicadores u orientaciones metodológicas.

El corpus principal estuvo integrado por seis documentos: (a) *Currículo priorizado de atención y educación de la primera infancia, 3-5 años, nivel de Educación Inicial*; (b) *Currículo priorizado de atención y educación de la primera infancia, 5-6 años, subnivel Preparatoria*; (c) *Currículo priorizado de Educación General Básica, subnivel Elemental*; (d) *Currículo priorizado de Educación General Básica, subnivel Media*; (e) *Currículo priorizado de Educación General Básica, subnivel Superior*; y (f) *Currículo priorizado de Bachillerato General* (MEDC, 2025a-f). Se excluyó el currículo correspondiente a 0-3 años por constituir un instrumento de atención y educación de primera infancia con una estructura diferenciada respecto del conjunto principal analizado.

El Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB) (Ministerio de Educación, 2013) no formó parte del corpus principal ni fue sometido al mismo procedimiento exhaustivo de codificación. Se utilizó exclusivamente como referente analítico de contraste, debido a que explicita de manera particular la participación comunitaria, los conocimientos ancestrales y la relación entre lengua, ciencia, cultura y territorio. Esta delimitación permitió mantener el foco del estudio en los currículos priorizados nacionales de 2025 y evitar interpretar el análisis como una comparación integral entre sistemas curriculares.

El uso del MOSEIB tuvo un carácter exclusivamente interpretativo y contextual. No se efectuó una comparación curricular formal entre el MOSEIB y los currículos priorizados 2025, debido a que ambos documentos poseen finalidades, estructuras y ámbitos institucionales diferentes y no fueron sometidos a un procedimiento simétrico de selección, codificación y análisis. En consecuencia, el MOSEIB no fue utilizado para establecer equivalencias, superioridad, déficit o niveles comparativos entre modelos curriculares, sino únicamente para contextualizar categorías relacionadas con participación comunitaria, conocimientos ancestrales, lengua, territorio y autoridad epistemológica.

### 2.3. Unidades de análisis y matriz de codificación

Las unidades de registro estuvieron constituidas por fragmentos curriculares con sentido completo, correspondientes a fundamentos, enfoques, objetivos de nivel o área, destrezas con criterios de desempeño, criterios de evaluación, indicadores y orientaciones metodológicas. Como unidad de contexto se consideró el apartado, área, asignatura, nivel o subnivel en el que se encontraba cada fragmento, con el propósito de evitar interpretaciones descontextualizadas y preservar la relación entre la evidencia analizada y su función dentro de la estructura curricular.

La matriz de codificación se organizó en cuatro dimensiones analíticas: D1 Interculturalidad; D2 Dimensión comunitaria; D3 Conocimiento/ciencia indígena; y D4 Coproducción epistemológica. Estas dimensiones se definieron a partir del problema de investigación, el marco conceptual y la revisión inicial del corpus. D1 permitió identificar referencias explícitas a diversidad cultural y lingüística, pueblos, nacionalidades, identidades e interculturalidad; D2 registró la presencia de familia, comunidad, territorio u organizaciones en el proceso educativo; D3 identificó el reconocimiento o utilización de saberes, conocimientos, medicina, tecnologías, prácticas y construcciones intelectuales indígenas o ancestrales; y D4 examinó específicamente si los actores comunitarios intervenían como productores, transmisores, validadores o decisores del conocimiento curricular.

Para establecer la profundidad epistemológica de las evidencias se construyó específicamente para esta investigación una tipología ordinal de cinco niveles, P1-P5. Esta tipología no fue tomada ni adaptada de una escala previamente formulada por otro autor, sino que constituye una construcción analítica original desarrollada para diferenciar entre la presencia de referencias interculturales y las distintas funciones epistemológicas y formas de autoridad curricular que pueden alcanzar los conocimientos indígenas. Su construcción siguió la lógica del análisis cualitativo de contenido, que permite desarrollar y refinar categorías mediante la articulación entre fundamentos teóricos, definiciones operacionales y evidencia documental (Schreier, 2012).

La fundamentación conceptual de la tipología se apoyó, además, en trabajos que cuestionan una concepción culturalmente neutra del conocimiento escolar y distinguen entre reconocimiento de la diversidad, incorporación de conocimientos indígenas y relaciones más complejas entre distintos sistemas de conocimiento. Aikenhead y Ogawa (2007) muestran que los conocimientos indígenas constituyen formas culturalmente situadas de comprender la naturaleza; Barnhardt y Kawagley (2005) plantean la necesidad de desplazar los sistemas indígenas de conocimiento

desde posiciones marginales hacia una participación sustantiva en los procesos educativos; y Bang y Medin (2010) destacan la importancia de generar condiciones para que los estudiantes naveguen entre múltiples orientaciones epistemológicas. Estos aportes sustentaron la necesidad de diferenciar analíticamente entre presencia cultural, reconocimiento del conocimiento, función epistemológica y autoridad de los sujetos que lo producen.

En términos conceptuales, la progresión propuesta se organiza mediante dos dimensiones relacionadas, pero no equivalentes. La primera corresponde a la función epistemológica del conocimiento, que transita desde su presencia o reconocimiento hacia su utilización cognitiva y aplicada. La segunda corresponde a la autoridad epistemológica, entendida como el reconocimiento curricular de los actores vinculados con ese conocimiento para intervenir en su producción, transmisión, validación o decisión. En esta lógica, P1-P4 describen principalmente cambios en la función atribuida al contenido indígena, mientras P5 incorpora una modificación adicional en la posición del sujeto colectivo dentro de la relación curricular.

A partir de este marco se establecieron inicialmente categorías deductivas relacionadas con lengua, cultura, conocimientos propios y participación comunitaria. Estas categorías fueron contrastadas posteriormente con el Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB), utilizado como referente analítico debido a que explicita relaciones entre lengua, conocimiento, ciencia, territorio, familia y comunidad, así como formas de participación de actores comunitarios en los procesos educativos (Ministerio de Educación, 2013).

Este contraste permitió precisar una distinción central para el estudio: la presencia de lenguas, expresiones culturales o saberes ancestrales en un documento curricular no implica necesariamente el mismo grado de profundidad epistemológica que su utilización para explicar, investigar, comparar o resolver problemas; del mismo modo, incorporar un conocimiento indígena en una actividad curricular no equivale a reconocer a las comunidades o a sus conocedores como sujetos con autoridad para producir, transmitir o validar dicho conocimiento.

La configuración definitiva de la tipología se realizó mediante un proceso iterativo. En una primera fase se aplicaron las categorías deductivas al corpus y se desarrolló una codificación piloto destinada a examinar preliminarmente si las categorías permitían diferenciar distintas funciones curriculares. Durante este proceso se identificaron evidencias con características próximas a categorías consecutivas, lo que permitió refinar las definiciones operacionales y precisar las reglas de decisión. Posteriormente, las categorías fueron organizadas jerárquicamente de acuerdo con la función epistemológica más profunda que podía demostrarse documentalmente. De este proceso se establecieron cinco niveles: P1, Lengua; P2, Cultura; P3, Saber ancestral; P4, Conocimiento aplicable; y P5, Conocimiento coproductivo comunitario.

La lógica jerárquica de P1-P5 se sustenta en un principio de incremento cualitativo del estatus, la función y la autoridad epistemológica reconocidos documentalmente. La progresión no expresa una superioridad cultural, cognitiva u ontológica de una forma de conocimiento respecto de otra, sino un cambio en la relación que el currículo establece con el conocimiento indígena.

En P1 y P2 predomina el reconocimiento de referencias lingüísticas y culturales; P3 introduce el reconocimiento explícito de conocimientos propios; P4 añade una función cognitiva o aplicada del conocimiento; y P5 incorpora, además, una dimensión de autoridad epistemológica al reconocer participación explícita de los sujetos colectivos vinculados con esos conocimientos en su producción, transmisión, validación o decisión curricular. En consecuencia, una mayor profundidad indica una mayor implicación curricular del conocimiento indígena y de sus portadores, no una jerarquía de valor entre lenguas, culturas o epistemologías.

Debe señalarse que el desarrollo y refinamiento de P1-P5 se realizó utilizando parcialmente el mismo corpus en el que posteriormente se aplicó la tipología. Este procedimiento es consistente con el carácter iterativo del análisis cualitativo de contenido, pero introduce un riesgo de circularidad analítica: las evidencias que contribuyeron a precisar las categorías no pueden utilizarse simultáneamente como prueba independiente de su validez o capacidad discriminante general. En consecuencia, la presente investigación debe entenderse como una fase de desarrollo y aplicación inicial de la tipología. Los resultados permiten examinar su utilidad heurística para organizar y diferenciar las evidencias del corpus estudiado, pero no constituyen una validación independiente de la herramienta ni permiten asumir su transferibilidad a otros contextos curriculares.

La progresión P1-P5 expresa diferencias cualitativas en la función y autoridad epistemológica documentada. P1 identifica situaciones en las que una lengua indígena constituye objeto de reconocimiento, estudio o problematización; P2 corresponde al reconocimiento de identidades, tradiciones, patrimonio, cosmovisiones, pueblos, nacionalidades o manifestaciones culturales; P3 requiere el reconocimiento explícito de saberes, conocimientos, tecnologías, prácticas o construcciones intelectuales propias; P4 se asigna cuando estos conocimientos cumplen una función cognitiva o aplicada dentro del currículo, por ejemplo, explicar, investigar, comparar, argumentar, resolver problemas o generar decisiones o productos; finalmente, P5 exige evidencia explícita de que comunidades, sabios, mayores, familias u organizaciones participan como productores, transmisores, validadores o decisores del conocimiento curricular.

La diferenciación entre P1, P2 y P3 responde al objeto principal de reconocimiento curricular. P1 identifica evidencias cuyo núcleo es lingüístico; P2 amplía el reconocimiento hacia identidades, cosmovisiones, prácticas y manifestaciones culturales; y P3 introduce un cambio cualitativo al reconocer explícitamente que los pueblos poseen conocimientos, tecnologías, prácticas intelectuales o sistemas de saber propios.

A su vez, P4 representa una mayor profundidad que P3 porque el currículo atribuye al conocimiento una función epistemológica más activa: deja de ser únicamente objeto de reconocimiento y pasa a operar como recurso para explicar, investigar, comparar, argumentar o resolver problemas. Finalmente, la transición P4-P5 responde al criterio de autoridad epistemológica: P5 no supone que la participación comunitaria haga más verdadero un conocimiento, sino que amplía el reconocimiento curricular desde el contenido hacia los sujetos colectivos vinculados con su producción y legitimidad.

La tipología se utilizó de manera jerárquica y ordinal, pero no como una secuencia evolutiva obligatoria ni como una estructura estrictamente acumulativa. Cada evidencia fue clasificada según el nivel máximo que pudiera demostrarse directamente a partir del fragmento y de su contexto curricular. Una evidencia P4 puede contener elementos asociados con niveles previos, pero no requiere que todos ellos aparezcan de manera explícita; del mismo modo, una evidencia lingüística P1 no representa una forma cultural inferior.

La ordinalidad se refiere exclusivamente al grado de implicación epistemológica observable en la función curricular: reconocimiento, reconocimiento de conocimiento propio, utilización cognitiva o aplicada y reconocimiento de autoridad sobre ese conocimiento. En consecuencia, P1-P5 no constituye una medida cuantitativa ni una puntuación del grado de interculturalidad, sino una jerarquía analítica del estatus curricular de las evidencias.

Para resolver los casos frontera entre categorías consecutivas se aplicó un criterio de evidencia explícita y mínima inferencia. Una unidad fue asignada al nivel superior únicamente cuando el fragmento contenía elementos suficientes para demostrar el criterio que lo diferenciaba del nivel precedente. En la frontera P1-P2, una referencia a una lengua originaria permaneció en P1 cuando el objeto principal era lingüístico, aun cuando estuviera contextualizada interculturalmente; se clasificó como P2 cuando el núcleo de la evidencia correspondía a identidad, cosmovisión, patrimonio u otras manifestaciones culturales. En la frontera P2-P3, no fue suficiente una referencia general a culturas ancestrales: para alcanzar P3 debía existir reconocimiento explícito de saberes, conocimientos, tecnologías, medicina, prácticas o construcciones intelectuales propias.

La transición de P3 a P4 exigió que el conocimiento indígena no fuera únicamente mencionado, recuperado o valorado, sino utilizado en una operación cognitiva o aplicada demostrable, como explicar, investigar, comparar, argumentar, resolver problemas o producir decisiones. Finalmente, la frontera P4-P5 se estableció mediante el criterio de autoridad epistemológica: la participación de familias o comunidades en actividades, visitas, elaboración de materiales, convivencia o contextualización no fue suficiente para alcanzar P5. Este nivel requirió evidencia expresa de participación de actores comunitarios en la producción, transmisión, validación o decisión sobre el conocimiento curricular.

Para diferenciar específicamente P3 de P4 se aplicó un criterio funcional. Una evidencia se clasificó como P3 cuando el currículo reconocía, recuperaba, valoraba o mencionaba explícitamente un saber, conocimiento, tecnología, práctica o construcción intelectual indígena, pero sin demostrar que dicho conocimiento interviniera en una operación cognitiva o aplicada. En cambio, se asignó P4 únicamente cuando el fragmento establecía de manera explícita que el conocimiento indígena era utilizado para explicar fenómenos, investigar, comparar, argumentar, resolver problemas, producir interpretaciones, tomar decisiones o generar productos.

En consecuencia, la presencia de verbos como “indagar”, “investigar” o “analizar” no fue suficiente por sí misma para alcanzar P4; fue necesario comprobar que la operación cognitiva recaía directamente sobre el conocimiento indígena o que este funcionaba como recurso para desarrollar dicha operación. Cuando esa relación funcional no podía demostrarse de manera explícita, la evidencia permaneció en P3.

La aplicación de esta regla puede observarse en dos casos del corpus. En Educación Inicial, la referencia a recuperar saberes y conocimientos ancestrales en un contexto que promueve curiosidad e indagación fue clasificada como P3, porque el fragmento reconoce explícitamente el saber, pero no demuestra que este sea utilizado como herramienta de indagación.

En contraste, en EGB Media, la indicación de investigar conocimientos ancestrales de la medicina indígena y argumentar su aporte al descubrimiento de medicamentos fue clasificada como P4, dado que el conocimiento ancestral interviene explícitamente en operaciones de investigación, argumentación y relación con conocimiento biomédico. Así, la diferencia entre P3 y P4 no depende de la mera presencia de términos asociados con saberes ancestrales ni de verbos cognitivos aislados, sino de la función demostrable que el conocimiento indígena cumple dentro de la acción curricular.

Cuando una unidad presentó características próximas a dos niveles consecutivos, se mantuvo el nivel inferior si el criterio diferenciador del nivel superior no podía demostrarse directamente en el documento. Estos registros fueron identificados como casos frontera y sometidos a una segunda revisión durante el proceso de codificación. Esta regla buscó minimizar la sobreinterpretación y asegurar correspondencia entre la categoría asignada y la evidencia curricular verificable.

En síntesis, la tipología P1-P5 se configuró mediante una secuencia metodológica compuesta por fundamentación en la literatura especializada, formulación de categorías deductivas iniciales, contraste analítico con el MOSEIB, codificación piloto del corpus, identificación y revisión de casos frontera, refinamiento de las definiciones operacionales y jerarquización final de los cinco niveles. La Tabla 1 presenta las definiciones operacionales y los criterios de decisión utilizados para clasificar las evidencias.

En términos de jerarquización, los niveles se interpretan mediante tres principios complementarios: estatus del conocimiento (P1-P3), función epistemológica (P3-P4) y autoridad epistemológica (P4-P5). Estos principios orientan la lectura de las definiciones operacionales y criterios de decisión presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Tipología de profundidad de inclusión epistemológica*

| Nivel | Definición operacional | Criterio de decisión |
|---|---|---|
| P1. Lengua | Reconocimiento, estudio o problematización de lenguas originarias, expresiones y diversidad lingüística. | La lengua indígena aparece como objeto de conocimiento o reconocimiento. |
| P2. Cultura | Identidad, tradiciones, patrimonio, cosmovisión, pueblos, nacionalidades o manifestaciones culturales. | Lo indígena es reconocido como cultura que debe conocerse, respetarse o valorarse. |
| P3. Saber ancestral | Reconocimiento explícito de saberes, conocimientos, medicina, tecnologías, prácticas o construcciones intelectuales indígenas. | Se reconoce que los pueblos poseen conocimientos propios, sin una función cognitiva o aplicada explícitamente demostrable en el fragmento. |
| P4. Conocimiento aplicable | El conocimiento indígena se utiliza para explicar, investigar, comparar, resolver problemas o generar productos/decisiones. | El conocimiento indígena cumple una función cognitiva o aplicada explícitamente demostrable dentro de la acción curricular. |
| P5. Conocimiento coproductivo comunitario | Comunidades, sabios, mayores, familias u organizaciones participan como productores, transmisores, validadores o decisores del conocimiento curricular. | La comunidad actúa como sujeto epistemológico y no solo como contexto. |

*Nota.* Elaboración propia.

## 2.4. Procedimiento y técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos fue la revisión documental sistemática de los seis currículos priorizados que conformaron el corpus principal. Para ello, se realizó una lectura analítica de los apartados de fundamentación, estructura curricular, objetivos, destrezas con criterios de desempeño, criterios de evaluación, indicadores y orientaciones metodológicas, identificando fragmentos relacionados con interculturalidad, diversidad lingüística, comunidad, pueblos y nacionalidades, saberes y conocimientos ancestrales, medicina indígena, tecnologías tradicionales, cosmovisiones y construcciones intelectuales.

La información se extrajo mediante una matriz estructurada de registro documental, en la que se consignaron, para cada evidencia, el documento de procedencia, nivel o subnivel, página, área o asignatura, componente curricular, código de objetivo, destreza, criterio o indicador, fragmento textual, dimensión analítica, nivel de profundidad epistemológica y observaciones de contraste. Este procedimiento permitió mantener la trazabilidad entre la fuente documental, la unidad de registro y la decisión de codificación.

El procedimiento se desarrolló en cinco fases: 1) lectura completa y reconocimiento del corpus; 2) localización y extracción de unidades pertinentes; 3) codificación piloto para precisar las definiciones operacionales y las fronteras entre categorías y niveles; 4) registro sistemático de las evidencias en la matriz de análisis; y 5) segunda revisión de los casos P3-P5 y de los casos frontera, seguida de una comparación transversal entre niveles, subniveles y áreas curriculares. En los casos de proximidad entre dos niveles consecutivos se aplicó la regla de evidencia explícita y mínima inferencia definida en el apartado 2.3.

El MOSEIB fue consultado únicamente como referente contextual secundario para interpretar categorías vinculadas con participación comunitaria, conocimientos ancestrales, lengua, ciencia, territorio y autoridad epistemológica. No se incorporó a la matriz principal de codificación, no se le asignaron niveles P1-P5 y no se realizaron comparaciones sistemáticas entre sus componentes y los seis currículos priorizados. En consecuencia, su función en el estudio fue exclusivamente contextual e interpretativa y no comparativa.

### 2.5. Consistencia de la codificación y límites de validación de la tipología

La coherencia conceptual inicial de la matriz se sustentó en la correspondencia entre las dimensiones analíticas, el problema de investigación, el marco conceptual y el MOSEIB como referente de contraste. Las dimensiones D1-D4 y la tipología P1-P5 fueron refinadas mediante codificación piloto, revisión de definiciones operacionales y análisis de casos frontera, con el propósito de fortalecer la coherencia interna y la trazabilidad entre las decisiones de codificación y la evidencia documental.

La consistencia alcanzada mediante estos procedimientos debe distinguirse de la validación externa de la tipología. En esta investigación, P1-P5 no fue sometida a juicio independiente de expertos antes de su aplicación definitiva, no se estimó confiabilidad intercodificador y tampoco se realizó una aplicación piloto en un corpus documental externo. Por tanto, la codificación piloto, el refinamiento de definiciones operacionales, la revisión de casos frontera y la trazabilidad documental constituyen mecanismos de control interno del proceso analítico, pero no permiten afirmar que la tipología haya sido validada como instrumento transferible a otros contextos curriculares. En esta etapa, P1-P5 debe entenderse como una propuesta analítica en desarrollo cuya pertinencia inicial se examina en el corpus estudiado.

El análisis fue realizado por un único codificador, por lo que no se estimó la confiabilidad entre codificadores. Esta condición aseguró continuidad en la aplicación del marco analítico, pero constituye una limitación metodológica, especialmente en las evidencias situadas en las fronteras entre niveles consecutivos, ya que no fue posible estimar un acuerdo independiente en la asignación de categorías.

Para mitigar este riesgo se aplicaron mecanismos de control interno: definiciones operacionales y reglas de decisión explícitas, codificación piloto, registro diferenciado de los casos frontera, trazabilidad documental y segunda revisión de las unidades clasificadas en P3-P5. Estas estrategias fortalecieron la consistencia y transparencia del procedimiento, aunque no sustituyen una estimación independiente de confiabilidad entre codificadores.

Una validación posterior de P1-P5 requerirá, al menos, tres procedimientos complementarios. Primero, juicio de expertos en currículo, educación intercultural y conocimientos indígenas incluidos expertos y actores pertenecientes a pueblos y nacionalidades para examinar la pertinencia conceptual y cultural de las categorías. Segundo, aplicación de la matriz por dos o más codificadores independientes y estimación del acuerdo intercodificador, particularmente en los casos frontera P2-P3, P3-P4 y P4-P5. Tercero, aplicación de la tipología a corpus curriculares independientes, nacionales o regionales, con el propósito de analizar la estabilidad de las

definiciones operacionales, la reproducibilidad de las decisiones de clasificación y su eventual transferibilidad. Hasta que estos procedimientos sean realizados, la utilidad metodológica de P1-P5 debe considerarse provisional y circunscrita a su aplicación inicial en el corpus analizado.

### 2.6. Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó mediante análisis cualitativo de contenido, combinando categorías deductivas definidas a partir del problema de investigación y del marco conceptual con refinamientos inductivos surgidos durante la lectura y codificación del corpus (Schreier, 2012). Cada unidad fue clasificada de acuerdo con las dimensiones D1-D4 y con el nivel máximo de profundidad epistemológica demostrable dentro de la tipología ordinal P1-P5.

La interpretación se centró en la función curricular de cada evidencia y no únicamente en la presencia de términos asociados con interculturalidad o conocimientos indígenas. La clasificación se realizó conforme a las definiciones operacionales y reglas de decisión establecidas en el apartado 2.3, evitando reiterar inferencias no sustentadas por la evidencia documental.

Posteriormente, se realizó una comparación transversal entre niveles, subniveles y áreas curriculares para identificar regularidades, discontinuidades, variaciones disciplinares y casos de mayor profundidad epistemológica. Esta comparación permitió examinar tanto la presencia de las dimensiones analíticas como las diferencias en la función asignada a los conocimientos indígenas y a los actores comunitarios dentro de la estructura curricular.

Dado que P1-P5 constituye una tipología ordinal construida con fines analíticos, no se calcularon porcentajes de “grado de interculturalidad”, puntuaciones acumulativas ni inferencias estadísticas. Los resultados se interpretaron como patrones cualitativos sustentados en evidencia documental trazable. La sistematización se efectuó mediante la matriz estructurada de análisis documental y no requirió software estadístico, dado el carácter cualitativo, documental y no inferencial del estudio.

### 2.7. Consideraciones éticas

El estudio utilizó exclusivamente documentos oficiales de acceso público y no involucró participantes humanos, información personal, intervención educativa ni datos sensibles. En consecuencia, no requirió consentimiento informado ni aprobación de un comité de ética para la fase documental. Se preservó la trazabilidad de las fuentes y se evitó atribuir al currículo intenciones o efectos de implementación que no pueden inferirse únicamente de los documentos.

## 3. Resultados

### 3.1. Patrón general de profundidad epistemológica

Los resultados se presentan como patrones cualitativos y niveles máximos justificables por evidencia documental, de acuerdo con la escala P1-P5 definida en la metodología. El análisis

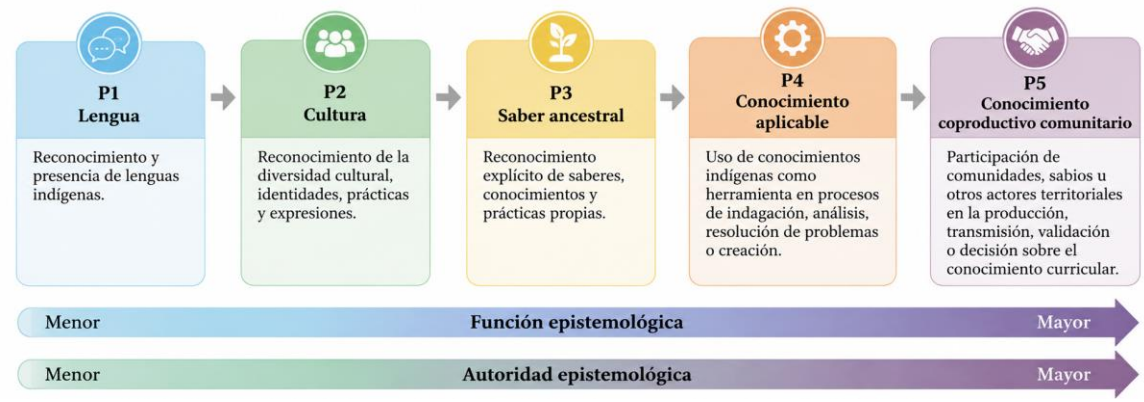
identificó una secuencia de inclusión que atraviesa los seis currículos: reconocimiento lingüístico, reconocimiento cultural, reconocimiento de saberes ancestrales y, en casos específicos, uso aplicado de esos conocimientos. La profundidad no fue homogénea entre niveles ni áreas. Educación Inicial presentó una presencia explícita de saberes y conocimientos ancestrales, junto con referencias a procesos de curiosidad e indagación y a formas de participación familiar y comunitaria; sin embargo, la evidencia documental no permitió demostrar que los saberes ancestrales fueran utilizados directamente como herramienta cognitiva o de indagación, por lo que su profundidad máxima se clasificó como P3.

Elemental y Media ofrecieron evidencias claras de aplicación en Ciencias Naturales, mientras que Bachillerato incorporó usos epistemológicos explícitos en Matemática y Filosofía. No se identificó en el corpus analizado una explicitación sistemática de mecanismos correspondientes a P5. Este resultado caracteriza exclusivamente el contenido documental de los currículos prescritos y no permite establecer la ausencia de procesos de coproducción comunitaria desarrollados en otras instancias de diseño, contextualización o implementación. La Tabla 2 sintetiza la profundidad máxima observada en cada currículo y las características dominantes de las evidencias.

La secuencia identificada puede sintetizarse, dentro del constructo analítico propuesto, como una progresión ordinal de profundidad epistemológica que transita desde el reconocimiento lingüístico y cultural hacia el reconocimiento de conocimientos propios, su utilización cognitiva o aplicada y, en su nivel de mayor profundidad analítica, la participación comunitaria con autoridad epistemológica. Esta progresión no representa una escala cuantitativa, una secuencia evolutiva obligatoria ni supone que todos los niveles deban aparecer acumulativamente en cada evidencia; distingue cualitativamente el estatus, la función y la autoridad epistemológica demostrables en los fragmentos curriculares analizados (Figura 1).

**Figura 1**

*Progresión de los niveles de profundidad epistemológica P1–P5*




*Nota.* P1-P5 representa una tipología ordinal de profundidad epistemológica referida exclusivamente al estatus, la función y la autoridad curricular documentados. La progresión no constituye una medida cuantitativa, una secuencia evolutiva obligatoria ni una jerarquía de valor entre lenguas, culturas o sistemas de conocimiento. Elaboración propia.

La comparación entre los seis currículos evidencia una profundidad epistemológica diferenciada entre niveles educativos. En Educación Inicial 3–5, la profundidad máxima documentalmente

justificable alcanza P3, mientras que en otros niveles se identificaron evidencias que alcanzan P4 mediante funciones curriculares, áreas disciplinares y tipos de conocimiento diferenciados. La Figura 2 sintetiza comparativamente este patrón y permite observar que el avance hacia funciones cognitivas o aplicadas del conocimiento indígena no se distribuye de manera homogénea en el corpus. Asimismo, P5 no se documenta de forma sistemática como mecanismo explícito de autoridad epistemológica comunitaria.

**Tabla 2**

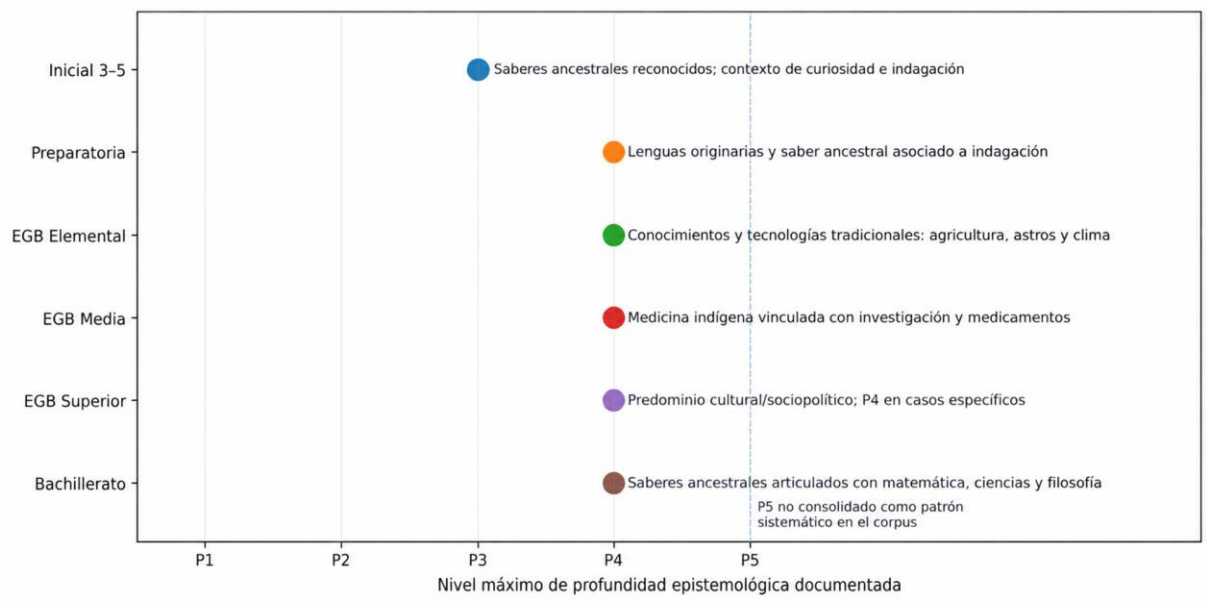
*Profundidad epistemológica observada en los seis currículos*

| Currículo | Evidencia dominante | Profundidad máxima | Observación |
|---|---|---|---|
| Inicial 3-5 | Lengua, diversidad cultural, saberes y conocimientos ancestrales; indagación; participación familiar y comunitaria. | P3 | El currículo reconoce explícitamente saberes y conocimientos ancestrales, pero no demuestra que estos sean utilizados directamente como herramienta cognitiva o de indagación. La participación familiar/comunitaria tampoco explicita autoridad epistemológica suficiente para P5. |
| Preparatoria | Lenguas originarias; reconocimiento de saberes ancestrales asociado a indagación y curiosidad. | P4 | La comunidad aparece como contexto de convivencia y participación. |
| EGB Elemental | Lenguas originarias; conocimientos ancestrales y tecnologías tradicionales en agricultura, astros y clima. | P4 | Uso explicativo/aplicado de saberes; no se documenta de forma explícita coproducción comunitaria en esta evidencia. |
| EGB Media | Pueblos y nacionalidades; medicina indígena y contribución al descubrimiento de medicamentos. | P4 | Fuerte reconocimiento aplicado en Ciencias Naturales. |
| EGB Superior | Interculturalidad sociopolítica; culturas ancestrales, cosmovisión, prácticas culturales. | P4 | P4 aparece en casos específicos; predomina una mayor densidad cultural y sociopolítica. |
| Bachillerato | Diglosia, plurinacionalidad, construcciones intelectuales ancestrales; saberes ancestrales articulados con matemática y ciencias. | P4 | Reconocimiento epistemológico alto; no se documentan de forma sistemática mecanismos de coproducción comunitaria. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de MEDC (2025a-f).

**Figura 2**

*Perfil comparativo de profundidad epistemológica máxima observada por nivel educativo*




*Nota.* La figura sintetiza la profundidad máxima documentada en cada nivel educativo a partir de las evidencias presentadas en la Tabla 2. P1–P5 constituye una tipología ordinal cualitativa; por tanto, la representación no expresa porcentajes, promedios ni una puntuación del grado de interculturalidad. No se documentó de forma sistemática evidencia suficiente para P5 en el corpus; esta ausencia documental no permite inferir la inexistencia de procesos de coproducción comunitaria fuera de los documentos analizados. Elaboración propia a partir de MEDC (2025a-f).

## 3.2. Del reconocimiento lingüístico a la interculturalidad curricular

El nivel P1 fue identificable en todos los tramos de escolaridad, aunque con distintos grados de complejidad. En Preparatoria, la destreza LL.1.5.4 plantea reconocer palabras y expresiones de las lenguas originarias e indagar su significado (MEDC, 2025b). En Elemental, LL.2.1.3 incorpora expresiones de lenguas originarias en textos cotidianos y las sitúa explícitamente en el contexto de la interculturalidad y la pluriculturalidad (MEDC, 2025c). En Media, CE.LL.3.1 y LL.3.1.3 amplían el foco hacia pueblos y nacionalidades que hablan otras lenguas (MEDC, 2025d). En Bachillerato, CE.LL.5.2 y LL.5.1.3 problematizan la diglosia y sus consecuencias en educación, identidad, derechos colectivos y vida cotidiana (MEDC, 2025f).

El tratamiento de la lengua presenta una progresión documental desde el reconocimiento léxico hacia el análisis sociolingüístico y político. En el currículo priorizado, la lengua originaria aparece predominantemente como objeto de reconocimiento o análisis; no se establece de forma general su uso como lengua vehicular de producción de conocimiento en todas las áreas. En el MOSEIB, utilizado como referente de contraste, se prescribe el uso oral y escrito de las lenguas de las nacionalidades en las áreas del conocimiento (Ministerio de Educación, 2013).

## 3.3. Cultura y saber ancestral: presencia transversal con funciones diferenciadas

El nivel P2 se expresó mediante identidad, patrimonio, pueblos, nacionalidades, tradiciones y cosmovisiones. En Elemental, Educación Cultural y Artística incorpora juegos, cuentos e historias tradicionales de nacionalidades; en Superior se solicita indagar sobre la visión del mundo

en culturas ancestrales y su permanencia en ritos, celebraciones y ceremonias (MEDC, 2025c, 2025e). En Bachillerato, Ciencias Sociales incorpora plurinacionalidad y demandas históricas de pueblos y nacionalidades (MEDC, 2025f). Estas evidencias confirman que la dimensión cultural no se restringe a una sola asignatura.

El nivel P3 aparece cuando el currículo reconoce conocimientos propios. En Educación Inicial, el enfoque intercultural incluye lengua, saberes y conocimientos ancestrales, y el eje de descubrimiento del medio natural-cultural señala que estos saberes pueden recuperarse mientras se fomentan curiosidad e indagación (MEDC, 2025a). Preparatoria mantiene una formulación similar. En Superior, las construcciones y prácticas ancestrales aparecen principalmente vinculadas con cosmovisión, patrimonio y expresión cultural; en Bachillerato, Filosofía incorpora expresamente construcciones intelectuales de pueblos ancestrales (MEDC, 2025e, 2025f).

### 3.4. Conocimiento indígena aplicable: ciencias, matemática y filosofía

La clasificación en P4 se reservó para evidencias en las que el conocimiento indígena cumplía una función cognitiva o aplicada explícitamente demostrable, y no para aquellas en las que únicamente era reconocido, recuperado o valorado. Esta regla permitió diferenciar P4 de P3 y reducir la sobreinterpretación de evidencias situadas en la frontera entre ambos niveles.

Las evidencias más profundas se localizaron cuando el conocimiento indígena adquirió una función explicativa o aplicada. En EGB Elemental, el criterio CE.CN.2.9 relaciona conocimientos ancestrales y tecnologías tradicionales con agricultura, observación de los astros, predicción del tiempo y fenómenos atmosféricos (MEDC, 2025c). Esta formulación asigna a los conocimientos ancestrales una función cognitiva para comprender relaciones entre ambiente, ciclos y prácticas productivas.

En EGB Media, CN.3.5.1 solicita recoger información sobre conocimientos ancestrales de la medicina indígena, afroecuatoriana y montubia y argumentar su importancia en el descubrimiento de nuevos medicamentos. El indicador asociado reconoce la contribución conjunta de medicina ancestral y medicina moderna al tratamiento de enfermedades y al mantenimiento de la salud integral (MEDC, 2025d). Esta evidencia constituye uno de los ejemplos más claros de P4, porque el saber ancestral no solo se valora: se relaciona con investigación y producción de conocimiento biomédico.

En Bachillerato, el objetivo OG.M.5 de Matemática propone vincular conocimientos matemáticos, otras disciplinas científicas y saberes ancestrales para plantear soluciones a problemas de la realidad y contribuir al desarrollo del entorno social, natural y cultural (MEDC, 2025f). Asimismo, Filosofía incorpora las construcciones intelectuales de pueblos ancestrales como formas de comprensión integral y alternativa. En conjunto, estas evidencias muestran que, en determinados campos, los conocimientos indígenas cumplen funciones explicativas o aplicadas dentro del currículo.

### 3.5. La comunidad: de contexto educativo a sujeto epistemológico

La dimensión comunitaria aparece con frecuencia en los seis documentos, pero no siempre con la misma función. En Inicial, el desarrollo de experiencias de aprendizaje puede incorporar a familias y comunidad en la recolección y elaboración de materiales, visitas pedagógicas y presentación de labores y vivencias; además, las experiencias deben poseer pertinencia cultural y contextual (MEDC, 2025a). En los demás niveles, la comunidad suele aparecer como espacio de convivencia, responsabilidad social, sostenibilidad, cuidado ambiental, emprendimiento o aplicación de aprendizajes.

El criterio P5 exigía evidencia explícita de que actores comunitarios fueran reconocidos como productores, transmisores, validadores o decisores del conocimiento curricular. En Educación Inicial se identificaron formas de participación familiar y comunitaria próximas a este criterio, aunque sin evidencia suficiente de validación o decisión curricular sistemática. En el resto del corpus, la participación comunitaria apareció principalmente como contexto, espacio de convivencia o ámbito de aplicación. Como referente de contraste, el MOSEIB contiene disposiciones explícitas sobre participación de miembros y organizaciones de la comunidad en procesos educativos, planificación, seguimiento y evaluación (Ministerio de Educación, 2013).

La Tabla 3 reúne evidencias representativas de las funciones curriculares identificadas en el corpus. En consecuencia, la expresión “P5 no consolidado” se utiliza únicamente para indicar que el corpus no contiene explicitación documental sistemática suficiente de autoridad epistemológica comunitaria; no constituye una demostración de inexistencia de prácticas o procesos de coproducción en el sistema educativo, en los territorios o en etapas de diseño curricular no documentadas en los instrumentos examinados.

**Tabla 3**

*Evidencias representativas y función epistemológica*

| Tipo de evidencia | Nivel/área | Función curricular | Profundidad |
|---|---|---|---|
| Lengua originaria | Preparatoria / Lengua y Literatura | Reconocer e indagar significados de expresiones originarias. | P1 |
| Interculturalidad sociopolítica | Superior / Estudios Sociales | Analizar interculturalidad y proponer acciones concretas en espacios cercanos. | P2 |
| Saber ancestral | Inicial / Medio natural-cultural | Recuperar saberes y conocimientos ancestrales en un contexto que promueve curiosidad e indagación. | P3 |
| Tecnología/conocimiento ambiental | Elemental / Ciencias Naturales | Relacionar conocimientos ancestrales y tecnologías tradicionales con agricultura, astros y clima. | P4 |
| Medicina indígena | Media / Ciencias Naturales | Investigar conocimientos ancestrales y su aporte al descubrimiento de medicamentos. | P4 |
| Saber + ciencia/matemática | Bachillerato / Matemática | Vincular matemática, disciplinas científicas y saberes ancestrales para resolver problemas. | P4 |
| Coproducción comunitaria (criterio P5) | Corpus nacional | Participación comunitaria frecuente como contexto; no se identificó explicitación documental sistemática de autoridad epistemológica comunitaria. | - |

*Nota.* El símbolo "-" en la fila correspondiente al criterio P5 indica que no se asigna un nivel de profundidad a una ausencia documental. La falta de explicitación suficiente de P5 en el corpus no equivale a ausencia empírica de procesos de coproducción comunitaria fuera de los documentos analizados. Elaboración propia a partir de MEDC (2025a-f).

## 4. Discusión

### 4.1. De la presencia intercultural al estatus epistemológico

El patrón identificado cuestiona dos interpretaciones extremas de la interculturalidad curricular: una que asumiría la exclusión general del conocimiento indígena y otra que equipararía cualquier presencia cultural con integración epistemológica. Los hallazgos sugieren una situación intermedia y estratificada, en la que el reconocimiento curricular adquiere funciones diferentes según el tipo de conocimiento y la autoridad atribuida a sus portadores. Esta distinción resulta relevante porque desplaza el análisis desde la presencia nominal de contenidos hacia el estatus epistemológico que estos adquieren dentro del currículo. Desde esta perspectiva, el caso ecuatoriano converge con debates regionales que advierten que el reconocimiento de la diversidad no garantiza por sí mismo una interculturalización estructural del sistema educativo (Corbetta et al., 2018; UNESCO, 2019).

La distinción entre presencia y estatus epistemológico tiene respaldo conceptual. Aikenhead y Ogawa (2007) proponen comprender las tradiciones indígenas como formas culturalmente situadas de vivir y conocer la naturaleza, mientras Bang y Medin (2010) enfatizan que navegar entre múltiples epistemologías exige atender a las prácticas culturales mediante las cuales se construye conocimiento. En el contexto mapuche, Arias-Ortega et al. (2019) llegan a una

conclusión afín: una educación intercultural epistemológicamente contextualizada requiere coconstrucción de materiales, métodos propios, colaboración con miembros de la comunidad e investigación situada. Así, el hallazgo ecuatoriano de P4 es relevante, pero no equivalente a P5: utilizar medicina indígena o conocimientos ambientales dentro de una destreza representa reconocimiento epistemológico; institucionalizar a los portadores comunitarios de esos conocimientos representa un nivel distinto de autoridad curricular.

### 4.2. Más allá de una incorporación exclusivamente cultural: funciones epistemológicas selectivas

La presencia de evidencias P4 en distintas áreas disciplinares resulta significativa porque muestra que determinados conocimientos indígenas no son incorporados únicamente como referentes identitarios o patrimoniales, sino que adquieren funciones cognitivas y aplicadas dentro del currículo prescrito. El interés analítico de este hallazgo no reside en la cantidad de menciones, sino en el cambio de función curricular: el conocimiento indígena pasa, en determinados casos, de ser objeto de reconocimiento a intervenir en procesos de explicación, investigación, argumentación o resolución de problemas. Esta transición dialoga con las propuestas de pluralidad epistemológica de Aikenhead y Ogawa (2007) y Barnhardt y Kawagley (2005), aunque su presencia selectiva indica que todavía no constituye un principio transversal del diseño curricular.

No obstante, el patrón es selectivo y disciplinarmente desigual. EGB Superior presenta alta densidad intercultural en Ciencias Sociales y Educación Cultural y Artística, pero menor presencia de conocimientos indígenas con función explicativa en las áreas analizadas. Este comportamiento es consistente con revisiones recientes que muestran que las prácticas interculturales latinoamericanas se distribuyen en niveles diferentes: algunas se orientan al reconocimiento de diferencias, otras fortalecen lenguas y conocimientos indígenas y un grupo más reducido incorpora esos conocimientos al currículo de manera crítica y situada (Chiappa et al., 2025).

La desigualdad interna observada sugiere que la pluralidad epistemológica todavía depende de decisiones disciplinares específicas más que de un principio transversal plenamente operacionalizado, cuestión relevante porque el propio currículo priorizado declara un enfoque interdisciplinario. Esta desigual distribución sugiere que la incorporación epistemológica depende todavía de oportunidades disciplinares específicas más que de una arquitectura curricular transversal de pluralidad epistemológica.

El contraste latinoamericano permite contextualizar este patrón. En Chile, Arias-Ortega et al. (2019) vinculan una interculturalidad epistemológicamente contextualizada con la coconstrucción de materiales, los métodos educativos propios y la participación comunitaria; Chiappa et al. (2025), en Chile y Perú, distinguen una gradación que va desde el reconocimiento cultural hasta incorporaciones más críticas y situadas de lenguas y conocimientos indígenas. De manera convergente, Duque Salazar et al. (2024) identifican la contextualización y la participación comunitaria como desafíos persistentes de la educación rural bilingüe latinoamericana.

El contraste internacional refuerza esta interpretación. Burgess et al. (2022) muestran, para el contexto australiano, que una narrativa curricular aborigen difícilmente adquiere centralidad cuando

funciona como un complemento añadido a áreas ya estructuradas desde otros marcos; su propuesta de Learning from Country desplaza el énfasis hacia conocimientos situados, relaciones con Country y aprendizaje liderado por miembros de comunidades aborígenes.

De forma convergente, Thompson et al. (2024), al analizar la inclusión de conocimientos indígenas en el Australian Curriculum, sostienen que la propia estructura curricular puede limitar un compromiso profundo con prácticas de producción de conocimiento que exceden los marcos disciplinares occidentales. Estos antecedentes permiten interpretar las evidencias P4 del caso ecuatoriano con mayor cautela: que un conocimiento indígena cumpla una función cognitiva o aplicada constituye un avance respecto de su sola presencia cultural, pero no implica necesariamente que dicho conocimiento reconfigure la arquitectura curricular que organiza su legitimidad y uso.

En este marco comparado, la particularidad ecuatoriana reside en la presencia de evidencias explícitas de función cognitiva y aplicada de conocimientos indígenas, especialmente en Ciencias Naturales, Matemática y Filosofía. La tipología propuesta permite reconocer este avance hacia P4 sin equipararlo con P5, cuya exigencia remite a mecanismos explícitos de autoridad y participación comunitaria en la producción o validación del conocimiento curricular.

### 4.3. La brecha principal: reconocimiento del conocimiento versus reconocimiento del sujeto que conoce

La discontinuidad entre P4 y P5 revela una cuestión más profunda que la sola incorporación de conocimientos indígenas: la diferencia entre reconocer un conocimiento y reconocer autoridad epistemológica a los sujetos colectivos vinculados con su producción y transmisión. En el currículo prescrito analizado, esta distinción permite observar que la apertura hacia conocimientos indígenas no implica automáticamente una redistribución de la autoridad curricular. El hallazgo es relevante porque sitúa el problema de la interculturalidad no únicamente en qué conocimientos se incluyen, sino también en quiénes participan legítimamente en su selección, contextualización y validación. Esta tensión encuentra paralelos en estudios latinoamericanos que identifican la participación comunitaria y la contextualización como desafíos persistentes de la EIB (Arias-Ortega et al., 2019; Duque Salazar et al., 2024).

Esta interpretación debe mantenerse dentro de los límites del análisis documental. La menor explicitación de P5 indica que los currículos prescritos no formalizan de manera sistemática mecanismos de autoridad epistemológica comunitaria; no permite concluir que esos mecanismos estén ausentes de los procesos de elaboración curricular, de las prácticas institucionales, de la contextualización territorial o de experiencias educativas desarrolladas por comunidades y actores locales. En este sentido, la ausencia documental constituye un hallazgo sobre la prescripción curricular, no una prueba de ausencia empírica de coproducción.

Desde esta perspectiva, la transición P4-P5 no representa simplemente un incremento en la cantidad o complejidad de contenidos interculturales, sino un cambio cualitativo en la relación entre conocimiento y autoridad curricular. Mientras P4 puede alcanzarse incorporando conocimientos indígenas como recursos válidos para explicar, investigar o resolver problemas, P5 requiere que los

sujetos colectivos vinculados con esos conocimientos sean reconocidos explícitamente como participantes en los procesos mediante los cuales el conocimiento curricular adquiere legitimidad. Esta diferencia explica por qué la noción de profundidad epistemológica utilizada en el estudio integra tanto la función del conocimiento como la posición reconocida a sus portadores.

Asimismo, la literatura internacional permite precisar la dimensión comunitaria de P5. Mpuangnan y Ntombela (2024), en Sudáfrica, muestran que incorporar voces comunitarias en el desarrollo curricular supone reconocer los conocimientos, experiencias y perspectivas locales como insumos legítimos para la construcción del currículo. En Australia, Thorpe et al. (2024) describen un aprendizaje centrado en Country en el que educadores comunitarios aborígenes ocupan una posición activa en la construcción pedagógica y curricular. Estos estudios no son equivalentes al caso ecuatoriano ni se utilizan como criterios de codificación, pero ofrecen referentes comparativos para interpretar P5 como una cuestión de agencia y gobernanza epistemológica: la comunidad deja de aparecer únicamente como contexto o fuente de contenidos y adquiere capacidad reconocida para incidir en cómo se selecciona, transmite y legitima el conocimiento.

La interpretación de esta brecha puede contextualizarse mediante el MOSEIB como referente normativo-pedagógico secundario. En dicho modelo se explicitan formas de participación comunitaria en procesos educativos, planificación y seguimiento, así como la incorporación de calendarios, prácticas productivas y vida comunitaria en la organización pedagógica (Ministerio de Educación, 2013). Este señalamiento no constituye una comparación curricular formal ni permite establecer equivalencias directas entre ambos instrumentos, dado que el MOSEIB no fue sometido al mismo procedimiento de selección, codificación y análisis aplicado al corpus principal.

La referencia al MOSEIB permite únicamente señalar que, dentro del sistema educativo ecuatoriano, existen antecedentes normativo-pedagógicos que explicitan formas de participación comunitaria; no permite establecer una comparación de desempeño, profundidad o calidad curricular entre el MOSEIB y los currículos priorizados. Esta delimitación también permite leer con cautela los hallazgos de Limerick (2024): el reconocimiento de una lengua indígena dentro del Estado puede coexistir con exigencias institucionales que reconfiguran las formas locales de autoridad, estandarización y uso lingüístico. En términos curriculares, reconocer un saber no garantiza preservar las relaciones sociales mediante las cuales ese saber se produce y adquiere legitimidad.

El resultado dialoga asimismo con los fondos de conocimiento de Moll et al. (1992), que conceptualizan los recursos cognitivos históricamente acumulados en hogares y comunidades como base para la enseñanza, y con la pedagogía culturalmente sostenible de Paris (2012), que propone sostener y no solo utilizar instrumentalmente los repertorios lingüísticos y culturales de comunidades minorizadas. Desde una perspectiva latinoamericana, este desplazamiento coincide con la demanda de avanzar de una EIB focalizada hacia una interculturalización más transversal del sistema educativo (Corbetta et al., 2018). En el caso ecuatoriano, P5 implicaría institucionalizar relaciones estables entre currículo, territorio y actores portadores de conocimiento, de modo que la comunidad no sea únicamente el lugar donde se aplica el aprendizaje, sino una instancia con capacidad reconocida para contribuir a su formulación, contraste y validación.

### 4.4. Implicaciones curriculares y de política educativa

A partir de estos hallazgos, pueden derivarse tres implicaciones para el análisis y la discusión curricular, sin asumir que constituyan resultados sobre la implementación efectiva del currículo. La primera implicación es metodológica. Evaluar la interculturalidad mediante la frecuencia léxica puede ocultar diferencias sustantivas entre una referencia a "lengua originaria", una destreza que estudia una práctica ancestral y una actividad que utiliza medicina indígena para investigar nuevos medicamentos. La tipología P1-P5 permite analizar la función y la autoridad epistemológica, no solo la visibilidad de los contenidos. Así, complementa las clasificaciones recientes de prácticas interculturales en la región (Chiappa et al., 2025) al trasladar esta diferenciación al currículo prescrito.

La segunda implicación es curricular y de gobernanza. Profundizar la interculturalidad no exige abandonar los aprendizajes comunes nacionales, sino establecer mecanismos claros de contextualización y participación territorial. Entre ellos se incluyen la definición de problemas de investigación con las comunidades, la participación de conocedores locales en experiencias de aprendizaje, la incorporación de fuentes orales y territoriales con criterios de atribución y consentimiento, y la validación comunitaria de contenidos pertinentes. Estas acciones son congruentes con recomendaciones regionales sobre participación comunitaria, revitalización lingüística y diálogo de saberes (UNESCO, 2019), así como con propuestas de coconstrucción identificadas en la educación mapuche (Arias-Ortega et al., 2019).

En términos operativos, avanzar hacia P5 requeriría institucionalizar esa participación en decisiones curriculares específicas: identificación de problemas y conocimientos territorialmente pertinentes, codiseño de experiencias y recursos, validación de contenidos vinculados con pueblos o territorios concretos y seguimiento de la pertinencia curricular. La diferencia respecto de una contextualización convencional radica en que la comunidad deja de actuar únicamente como fuente de información o escenario de aprendizaje y adquiere una capacidad reconocida para intervenir en determinadas decisiones sobre el conocimiento curricular.

Para futuros procesos de reforma curricular en Ecuador, esta perspectiva no implicaría sustituir los aprendizajes comunes nacionales ni trasladar automáticamente al currículo general la estructura del MOSEIB. Su implicación práctica sería establecer niveles diferenciados de decisión curricular que permitan articular los aprendizajes nacionales con conocimientos, problemas, prácticas y temporalidades territorialmente situadas. En este marco, la tipología P1-P5 podría emplearse como herramienta diagnóstica para identificar en qué componentes existe reconocimiento lingüístico o cultural, dónde los conocimientos indígenas cumplen funciones cognitivas o aplicadas y en qué ámbitos todavía se requieren mecanismos institucionales de coproducción comunitaria. De esta manera, la matriz podría aportar criterios para el diseño, seguimiento y evaluación de futuras reformas orientadas a una interculturalidad curricular con mayor participación territorial y pluralidad epistemológica.

La tercera implicación es epistemológica. Integrar conocimientos indígenas no significa declarar equivalencia indiscriminada entre toda afirmación tradicional y todo conocimiento científico, ni someter automáticamente el primero a criterios definidos exclusivamente por la

ciencia escolar. Implica construir situaciones pedagógicas donde puedan explicitarse propósitos, evidencias, procedimientos, relaciones con el territorio, límites y ámbitos de validez, favoreciendo una navegación crítica entre sistemas de conocimiento (Bang & Medin, 2010). La finalidad no es producir un currículo de yuxtaposición, sino ampliar las condiciones de diálogo y argumentación. Esta cautela es central para evitar dos riesgos simétricos: un cientificismo que invalide de antemano otros sistemas de conocimiento y un relativismo que elimine cualquier posibilidad de contraste crítico.

### 4.5. Limitaciones del estudio y futuras investigaciones

El estudio presenta seis limitaciones. Primero, analiza exclusivamente el currículo prescrito contenido en documentos oficiales. No examina prácticas pedagógicas, materiales didácticos, planificaciones docentes, procesos de evaluación, experiencias de aula ni mecanismos efectivos de participación comunitaria durante la implementación. En consecuencia, los resultados permiten caracterizar lo que el currículo formal explicita y prescribe, pero no determinar cómo esas disposiciones son interpretadas, apropiadas, modificadas o ampliadas en contextos educativos concretos. Tampoco puede inferirse, a partir de la ausencia de una prescripción documental, la inexistencia de prácticas interculturales o de coproducción comunitaria desarrolladas fuera de los documentos analizados.

Segundo, la tipología de cinco niveles es una propuesta analítica original y requiere validación externa mediante su aplicación en otros corpus y sistemas educativos. Tercero, existe un posible efecto de circularidad analítica, dado que la tipología fue refinada durante el análisis del mismo corpus en el que posteriormente se aplicó. Por ello, la diferenciación observada entre P1-P5 constituye evidencia de funcionamiento interno dentro de este corpus, pero no una demostración independiente de la capacidad discriminante o transferibilidad de la propuesta. Cuarto, el análisis fue realizado por un único codificador; aunque se utilizaron un libro de códigos, la recodificación de casos frontera y la trazabilidad textual, no se estimó acuerdo intercodificador.

Quinto, la identificación de P5 se restringió a evidencia explícita del documento; por tanto, la ausencia de P5 en el corpus no equivale a ausencia empírica de coproducción comunitaria, y prácticas relevantes pueden existir en procesos institucionales, territoriales o de implementación sin estar prescritas en el currículo nacional. Sexto, el MOSEIB fue utilizado únicamente como referente contextual e interpretativo y no como segundo corpus de comparación. Al no haber sido sometido al mismo procedimiento de selección, codificación y análisis aplicado a los currículos priorizados, el estudio no permite establecer comparaciones formales, equivalencias ni diferencias sistemáticas entre ambos modelos curriculares.

La distinción entre P3 y P4, aunque se apoyó en definiciones operacionales, criterios funcionales y la regla de evidencia explícita y mínima inferencia, conserva un componente interpretativo propio del análisis cualitativo. En consecuencia, la reproducibilidad de esta frontera deberá examinarse mediante codificadores independientes, juicio experto y aplicaciones en corpus externos antes de asumir que la diferenciación funciona de manera estable fuera del conjunto documental estudiado.

La organización ordinal P1-P5 constituye una hipótesis analítica sobre diferencias cualitativas de estatus, función y autoridad epistemológica dentro del currículo prescrito. Aunque su lógica se fundamenta conceptualmente y se operacionaliza mediante reglas explícitas, la estabilidad del orden jerárquico deberá examinarse mediante juicio experto, codificación independiente y aplicaciones en otros corpus antes de considerarlo transferible a contextos distintos.

Futuras investigaciones deberían probar la matriz con equipos de codificación independientes, estimar confiabilidad intercodificador y examinar validez de constructo mediante contraste con expertos indígenas y curriculares. También se requieren estudios de implementación en instituciones del Sistema Nacional de Educación y del SEIB, con entrevistas a docentes, estudiantes, dirigentes, sabios, familias y diseñadores de política; análisis de materiales, proyectos, evaluación y prácticas de aula; y estudios comparados con países que han desarrollado currículos regionalizados o políticas de EIB. Las revisiones latinoamericanas recientes muestran además una concentración geográfica desigual de la evidencia (Duque Salazar et al., 2024; Chiappa et al., 2025), por lo que ampliar estudios empíricos en Ecuador, Bolivia, Perú, Guatemala y otros contextos permitiría probar si la discontinuidad P4-P5 es específica del currículo ecuatoriano o un patrón regional.

## 5. Conclusiones

El objetivo del estudio fue analizar los niveles de profundidad epistemológica con que la interculturalidad, la dimensión comunitaria y los conocimientos indígenas se incorporan en los currículos priorizados 2025 del Ecuador, identificando el tránsito desde el reconocimiento lingüístico y cultural hasta el conocimiento aplicable y la posible coproducción curricular comunitaria. Los resultados permiten concluir que estos currículos superan una incorporación exclusivamente declarativa: las lenguas originarias, los pueblos y nacionalidades, los saberes ancestrales y determinados conocimientos indígenas se encuentran presentes en componentes operativos del currículo, incluidos objetivos, destrezas con criterios de desempeño, criterios de evaluación, indicadores y orientaciones curriculares.

La profundidad de esta incorporación, sin embargo, no es homogénea entre niveles educativos. Educación Inicial alcanzó P3 mediante el reconocimiento explícito de saberes ancestrales, mientras que las evidencias P4 se localizaron en componentes específicos de otros niveles y áreas disciplinares. El análisis muestra un tránsito desde el reconocimiento lingüístico y cultural hacia el reconocimiento explícito de conocimientos propios y, en determinadas áreas, hacia su utilización cognitiva o aplicada. Las evidencias de mayor profundidad epistemológica se localizaron principalmente en Ciencias Naturales, Matemática y Filosofía.

En EGB Elemental, los conocimientos y tecnologías tradicionales se relacionan con agricultura, observación de los astros y fenómenos climáticos; en EGB Media, la medicina indígena se vincula con procesos de investigación y con el descubrimiento de medicamentos; y en Bachillerato, los saberes ancestrales se articulan con conocimientos matemáticos, científicos y filosóficos para comprender fenómenos y plantear soluciones a problemas de la realidad. Estos

hallazgos evidencian que, en determinados componentes curriculares, el conocimiento indígena supera una función exclusivamente cultural o patrimonial y adquiere una función epistemológica explícita.

La principal discontinuidad documental identificada se localiza, en el plano del currículo prescrito, entre el conocimiento aplicable (P4) y la explicitación de mecanismos correspondientes al conocimiento coproductivo comunitario (P5). Aunque la comunidad aparece en los documentos como contexto educativo, espacio de convivencia, ámbito de aplicación de aprendizajes y, especialmente en Educación Inicial, como participante de experiencias pedagógicas, el corpus documental analizado no presenta evidencia explícita y sistemática suficiente para sostener que, en el currículo prescrito, comunidades, sabios, mayores, familias u organizaciones territoriales sean institucionalizados como productores, transmisores, validadores o decisores del conocimiento curricular.

Este resultado no permite inferir que tales formas de participación estén ausentes de los procesos de implementación, de prácticas educativas desarrolladas en los territorios o de otras instancias institucionales no incluidas en el corpus. En consecuencia, el patrón documental identificado puede caracterizarse como un avance desde el reconocimiento lingüístico y cultural hacia formas de reconocimiento y utilización epistemológica del conocimiento indígena, seguido de una discontinuidad documental en la explicitación de mecanismos sistemáticos de coproducción comunitaria. Esta formulación no presupone la inexistencia de tales procesos fuera del corpus analizado.

El aporte del estudio es simultáneamente empírico y conceptual-metodológico. En el plano empírico, los resultados muestran que los currículos priorizados ecuatorianos contienen formas de incorporación del conocimiento indígena que, en determinados componentes, superan una lectura limitada a su presencia normativa, lingüística o cultural. En el plano conceptual-metodológico, el estudio propone una tipología P1-P5 diseñada para diferenciar cinco funciones cualitativamente distintas: lengua, cultura, saber ancestral, conocimiento aplicable y conocimiento coproductivo comunitario. En su aplicación inicial al corpus analizado, esta organización permitió distinguir entre presencia temática, función epistemológica y autoridad curricular; sin embargo, su capacidad discriminante fuera de este corpus deberá comprobarse mediante procesos posteriores de validación independiente.

A partir de estos hallazgos, y sin confundir estas posibilidades con resultados empíricos del estudio, pueden plantearse implicaciones prospectivas para la evaluación curricular y la política educativa. En el ámbito de la evaluación curricular, la matriz P1-P5 podría explorarse, previa validación independiente, como apoyo analítico para examinar no solo si la interculturalidad o los conocimientos indígenas aparecen en un currículo, sino también qué función cumplen y qué formas de autoridad se explicitan respecto de sus portadores. Esta posible aplicación constituye una proyección derivada de los hallazgos y no una eficacia demostrada de la matriz en procesos reales de evaluación.

De manera igualmente prospectiva, la matriz podría ser examinada en futuros procesos de formulación, seguimiento o evaluación de políticas curriculares, siempre que su consistencia,

pertinencia y transferibilidad sean previamente contrastadas en aplicaciones independientes. Su eventual uso permitiría explorar transiciones entre reconocimiento lingüístico, presencia cultural, reconocimiento de conocimientos propios, utilización cognitiva y autoridad epistemológica comunitaria. Las propuestas relativas a contextualización territorial, participación comunitaria y mecanismos de coproducción deben entenderse, por tanto, como recomendaciones de política educativa derivadas de la discusión y no como resultados empíricos demostrados por el corpus analizado.

La propuesta analítica requiere, no obstante, continuar su proceso de validación. Futuras investigaciones deberían aplicar la tipología P1-P5 en otros corpus curriculares ecuatorianos y en contextos nacionales y regionales latinoamericanos, utilizando codificadores independientes, estimaciones de acuerdo intercodificador y procedimientos de juicio de expertos.

Esta validación debería incorporar especialistas en currículo y educación intercultural, así como expertos y actores pertenecientes a pueblos y nacionalidades indígenas, de manera que puedan examinarse conjuntamente la consistencia técnica, la pertinencia cultural y la validez epistemológica de las categorías y de sus criterios de decisión. Los estudios comparados permitirían evaluar y no presuponer la estabilidad, capacidad discriminante y transferibilidad de la matriz, así como explorar si la discontinuidad observada entre P4 y P5 constituye una particularidad del currículo ecuatoriano o un patrón más amplio de los procesos latinoamericanos de interculturalización curricular.

Finalmente, será necesario complementar el análisis del currículo prescrito con investigaciones sobre su implementación. Estudios en instituciones del Sistema Nacional de Educación y del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe, mediante análisis de prácticas pedagógicas, materiales, proyectos y procesos de evaluación, junto con la participación de docentes, estudiantes, familias, sabios, dirigentes comunitarios y responsables de política educativa, permitirían determinar si los niveles de profundidad identificados documentalmente se mantienen, se amplían o se restringen en la práctica. Este contraste resulta particularmente relevante para identificar formas de coproducción comunitaria que pueden existir en los territorios aun cuando no estén explícitamente prescritas en los documentos curriculares nacionales.

En síntesis, los currículos priorizados 2025 evidencian un tránsito desde el reconocimiento lingüístico y cultural hacia formas de incorporación epistemológica aplicada de los conocimientos indígenas, pero muestran una discontinuidad documental en la explicitación de mecanismos sistemáticos de coproducción comunitaria; esta ausencia de explicitación no permite inferir la inexistencia de tales procesos fuera del currículo prescrito. En este estudio, la tipología P1-P5 permitió hacer visible analíticamente esta diferencia y se presenta como una propuesta metodológica en desarrollo. Su eventual consolidación y cualquier aplicación posterior en evaluación curricular o política educativa requerirán validación externa, aplicación comparada en corpus independientes y contraste con prácticas reales de implementación, manteniendo como principio central la distinción entre los hallazgos efectivamente demostrados y las implicaciones prospectivas derivadas de ellos.

## Referencias bibliográficas

Aikenhead, G. S., & Ogawa, M. (2007). Indigenous knowledge and science revisited. *Cultural Studies of Science Education, 2*(3), 539-620. https://doi.org/10.1007/s11422-007-9067-8

Arias-Ortega, K., Quilaqueo, D., & Quintriqueo, S. (2019). Intercultural bilingual education in La Araucanía: Main epistemological limitations. *Educação e Pesquisa, 45*, e192645. https://doi.org/10.1590/S1678-4634201945192645

Bang, M., & Medin, D. (2010). Cultural processes in science education: Supporting the navigation of multiple epistemologies. *Science Education, 94*(6), 1008-1026. https://doi.org/10.1002/sce.20392

Barnhardt, R., & Kawagley, A. O. (2005). Indigenous knowledge systems and Alaska Native ways of knowing. *Anthropology & Education Quarterly, 36*(1), 8-23. https://doi.org/10.1525/aeq.2005.36.1.008

Burgess, C., Thorpe, K., Egan, S., & Harwood, V. (2022). Learning from Country to conceptualise what an Aboriginal curriculum narrative might look like in education. *Curriculum Perspectives, 42*, 157-169. https://doi.org/10.1007/s41297-022-00164-w

Chiappa, R., Dufraix, I., Jiménez, R., Hidalgo, M., Cafferata, I., Pérez-Ossa, D., & Chura, A. (2025). Prácticas pedagógicas interculturales en Chile y Perú: Una revisión sistemática de la literatura desde una perspectiva crítica-situada. *Education Policy Analysis Archives, 33*(87). https://doi.org/10.14507/epaa.33.9285

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449*, 20 de octubre de 2008.

Corbetta, S., Bonetti, C., Bustamante, F., & Vergara Parra, A. B. (2018). *Educación intercultural bilingüe y enfoque de interculturalidad en los sistemas educativos latinoamericanos: Avances y desafíos* (LC/TS.2018/98). CEPAL; UNICEF. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/23ffb0bf-cfff-4546-83cc-a132182f507f/content

Duque Salazar, D. M., Tangarife Loaiza, M. A., & Velásquez Hoyos, Á. P. (2024). Interculturality in Latin American rural bilingual education: A systematic literature review. *Profile: Issues in Teachers' Professional Development, 26*(2), 199-215. https://doi.org/10.15446/profile.v26n2.109822

Ley Orgánica de Educación Intercultural. (2024). *Quinto Suplemento del Registro Oficial No. 689, 22 de noviembre de 2024*.

Limerick, N. (2024). Can state offices reclaim Kichwa? Intercultural bilingual education politics and policy in Ecuador over decades. *Applied Linguistics, 45*(3), 498-513. https://doi.org/10.1093/applin/amad044

López, L. E., & Küper, W. (1999). La educación intercultural bilingüe en América Latina: Balance y perspectivas. *Revista Iberoamericana de Educación, 20*, 17-85. https://doi.org/10.35362/rie2001041

Ministerio de Educación. (2013). *Modelo del Sistema de Educación Intercultural Bilingüe (MOSEIB)*. https://educacionbilingue.gob.ec/wp-content/uploads/2026/10/MOSEIB.pdf

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. (2025a). *Currículo priorizado de atención y educación de la primera infancia con énfasis en habilidades comunicacionales, lógico matemáticas, digitales y socioemocionales: 3-5 años, nivel de Educación Inicial*. Gobierno del Ecuador. https://recursos.educacion.gob.ec/red/curriculo/

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. (2025b). *Currículo priorizado de atención y educación de la primera infancia con énfasis en habilidades comunicacionales, lógico matemáticas, digitales y socioemocionales: 5-6 años, Educación General Básica, subnivel Preparatoria*. Gobierno del Ecuador. https://recursos.educacion.gob.ec/red/curriculo/

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. (2025c). *Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales: Educación General Básica, subnivel Elemental*. Gobierno del Ecuador. https://recursos.educacion.gob.ec/red/curriculo/

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. (2025d). *Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales: Educación General Básica, subnivel Media*. Gobierno del Ecuador. https://recursos.educacion.gob.ec/red/curriculo/

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. (2025e). *Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales: Educación General Básica, subnivel Superior*. Gobierno del Ecuador. https://recursos.educacion.gob.ec/red/curriculo/

Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. (2025f). *Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales: Nivel de Bachillerato General*. Gobierno del Ecuador. https://recursos.educacion.gob.ec/red/curriculo/

Moll, L. C., Amanti, C., Neff, D., & Gonzalez, N. (1992). Funds of knowledge for teaching: Using a qualitative approach to connect homes and classrooms. *Theory Into Practice, 31*(2), 132-141. https://doi.org/10.1080/00405849209543534

Mpuangnan, K. N., & Ntombela, S. (2024). Community voices in curriculum development. *Curriculum Perspectives, 44*(1), 49-60. https://doi.org/10.1007/s41297-023-00223-w

Paris, D. (2012). Culturally sustaining pedagogy: A needed change in stance, terminology, and practice. *Educational Researcher, 41*(3), 93-97. https://doi.org/10.3102/0013189X12441244

Santos, B. de S. (2015). *Epistemologies of the South: Justice against epistemicide (1st ed.)*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315634876

Schreier, M. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. SAGE.

Smith, L. T. (2021). *Decolonizing methodologies: Research and Indigenous peoples* (3rd ed.). Zed Books. https://doi.org/10.5040/9781350225282

Thompson, K., Lowe, K., Vass, G., & Woods, A. (2024). "Sometimes perception will suffice": Indigenous knowledges and the Australian Curriculum. *Curriculum Inquiry, 54*(4), 377-399. https://doi.org/10.1080/03626784.2025.2471494

Thorpe, K., ten Kate, L., & Burgess, C. (2024). Reimagining democratic education by positioning Aboriginal Country-centred learning as foundational to curriculum and pedagogy. *Curriculum Perspectives, 44*(2), 205-216. https://doi.org/10.1007/s41297-024-00233-2

UNESCO. (2019). *Conocimientos indígenas y políticas educativas en América Latina: Hacia un diálogo de saberes. Segundo informe*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367168

# Apéndice A

## Instrumentos de análisis documental

### Capítulo: Más allá de la interculturalidad declarativa: profundidad epistemológica de la incorporación del conocimiento indígena en los currículos priorizados 2025 del Ecuador

**Propósito.** Este anexo documenta los instrumentos utilizados para registrar, clasificar y justificar las evidencias del corpus curricular. Presenta el libro de códigos y una muestra de registros verificables; la matriz ampliada de trabajo se conserva en el archivo Excel complementario.

**Criterio de trazabilidad.** Cada registro conserva la información necesaria para reconstruir la decisión analítica: documento de origen, nivel o subnivel, página, área o asignatura, componente curricular y código correspondiente, evidencia sintetizada, dimensión analítica, nivel de profundidad P1-P5, justificación de la codificación y, cuando corresponde, observación de frontera. Esta última se utiliza en los casos en que una evidencia presenta rasgos próximos a dos niveles consecutivos de la escala; en tales situaciones se asigna el nivel más alto que pueda demostrarse explícitamente en el fragmento y se registra su proximidad al nivel siguiente. Este criterio busca garantizar transparencia, consistencia y posibilidad de revisión de las decisiones de codificación, sin convertir la escala ordinal P1-P5 en una medida métrica.

**Tabla A1**

*Libro de códigos de dimensiones analíticas*

| Código | Dimensión | Definición operacional | Regla de decisión |
|---|---|---|---|
| D1 | Interculturalidad | Diversidad cultural/lingüística, pueblos, nacionalidades, identidades, interculturalidad o pluriculturalidad. | La evidencia aborda explícitamente diversidad, relación intercultural o reconocimiento de pueblos/nacionalidades. |
| D2 | Dimensión comunitaria | Presencia de familia, comunidad, territorio u organizaciones como contexto o participantes del proceso educativo. | No confundir participación contextual/logística con autoridad epistemológica. |
| D3 | Conocimiento/ciencia indígena | Reconocimiento o uso de saberes, medicina, tecnologías, prácticas o construcciones intelectuales indígenas/ancestrales. | Debe existir referencia explícita a saber/conocimiento propio. |
| D4 | Coproducción epistemológica | Actores comunitarios participan como productores, transmisores, validadores o decisores del conocimiento curricular. | La comunidad debe actuar como sujeto epistemológico, no solo como contexto. |

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla A2**

*Tipología de profundidad epistemológica P1-P5*

| Nivel | Denominación | Definición | Criterio de decisión |
|---|---|---|---|
| P1 | Lengua | Lenguas originarias, expresiones y diversidad lingüística. | La lengua indígena es objeto de reconocimiento, estudio o análisis. |
| P2 | Cultura | Identidad, tradiciones, patrimonio, cosmovisión, pueblos o manifestaciones culturales. | Lo indígena se reconoce como cultura que debe conocerse, respetarse o analizarse. |
| P3 | Saber ancestral | Reconocimiento explícito de saberes, conocimientos, medicina, tecnologías o construcciones intelectuales indígenas. | Se reconoce que los pueblos poseen conocimientos propios, sin uso cognitivo o aplicado explícito en el fragmento. |
| P4 | Conocimiento aplicable | El conocimiento indígena se utiliza para explicar, investigar, comparar, resolver problemas o generar decisiones/productos. | Debe existir una función cognitiva o aplicada explícitamente demostrable; la presencia de verbos cognitivos aislados no basta si el conocimiento indígena no interviene en la operación. |
| P5 | Conocimiento coproductivo comunitario | Comunidades, sabios, mayores, familias u organizaciones participan como productores, transmisores, validadores o decisores del conocimiento curricular. | La participación contextual no basta; se exige autoridad epistemológica explícita. |

*Nota.* Elaboración propia.

# Apéndice B

## Muestra de la matriz de registro y codificación documental

Los registros de la Tabla B1 proceden de los documentos oficiales 2025 del corpus. La evidencia se sintetiza para facilitar la lectura y conserva código y página para comprobación documental.

**Tabla B1**

*Extracto de la matriz de registro y codificación documental de los currículos priorizados 2025*

| ID | Documento / nivel | Pág. | Área / código | Evidencia documental sintetizada | Dim. | Prof. | Justificación / control |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E01 | MEDC 2025a ·Inicial 3-5 | 17 | Medio natural-cultural eje | Recuperar saberes y conocimientos ancestrales en un contexto que promueve curiosidad e indagación | D3 | P3 | Reconocimiento explícito del saber. Caso frontera P3/P4: el fragmento no demuestra por sí solo que el saber sea usado como herramienta de indagación. |
| E02 | MEDC 2025a . Inicial 3-5 | 52 | Experiencias de aprendizaje | Familia y comunidad pueden participar en materiales, visitas y presentación de labores/vivencias; se exige pertinencia cultural y contextual. | D2 | - | Participación real, pero sin autoridad explícita para producir, validar o decidir conocimiento curricular. |
| E03 | MEDC 2025a ·Inicial 3-5 | 56 | Relación familia-centro | Familias participan en experiencias, salidas, materiales, narración de cuentos y actividades comunitarias. | D2/D4 | - | Refuerza la diferencia entre participación educativa y coproducción epistemológica. |
| E04 | MEDC 2025b ·Preparatoria | 33 | Lengua y Literatura ·LL.1.5.4 | Reconoce expresiones de lenguas originarias del Ecuador e indaga sus significados. | D1 | P1 | La lengua originaria es objeto explícito de reconocimiento e indagación semántica. |
| E05 | MEDC 2025c ·EGB Elemental | 17 | Lengua y Literatura ·LL.2.1.3 | Reconoce expresiones de lenguas originarias en textos cotidianos dentro de la interculturalidad/pluriculturalidad. | D1 | P1 | Foco lingüístico con contextualización intercultural. |
| E06 | MEDC 2025c ·EGB Elemental | 28 | Ciencias Naturales ·CE.CN.2.9 / CN.2.5.1 | Relaciona conocimientos ancestrales y tecnologías tradicionales con agricultura, astros y clima; exige indagar y comunicar resultados. | D3 | P4 | Uso explicativo, investigativo y aplicado del conocimiento ancestral. |
| E07 | MEDC 2025d ·EGB Media | 17 | Lengua y Literatura ·CE.LL.3.1 / LL.3.1.3 | Indaga características de pueblos y nacionalidades que hablan otras lenguas. | D1 | P1 | La diversidad lingüística es el objeto principal; existe ampliación sociocultural. |

| ID | Documento / nivel | Pág. | Área / código | Evidencia documental sintetizada | Dim. | Prof. | Justificación / control |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E08 | MEDC 2025d ·EGB Media | 26 | Ciencias Naturales ·CN.3.5.1 / I.CN.3.5.2 | Investiga medicina indígena, afroecuatoriana y montubia y argumenta su aporte al descubrimiento de medicamentos. | D3 | P4 | El saber ancestral se utiliza para investigar, argumentar y relacionar conocimiento tradicional y biomédico. |
| E09 | MEDC 2025e ·EGB Superior | 53 | Educación Cultural y Artística ·ECA.4.3.15 | Indaga la visión del mundo en culturas ancestrales y su continuidad en la vida cotidiana, ritos y ceremonias. | D1/ D3 | P2 | Evidencia cultural/cosmovisional segura; no prueba por sí sola P4. Caso frontera P2/P3. |
| E10 | MEDC 2025f ·Bachillerato | 17 | Lengua y Literatura ·CE.LL.5.2 / LL.5.1.3 | Analiza diglosia de lenguas originarias y consecuencias en educación, identidad, derechos colectivos y vida cotidiana. | D1 | P1 | Tratamiento lingüístico con profundidad sociolingüística y política. |
| E11 | MEDC 2025f ·Bachillerato | 75 | Filosofía ·CS.F.5.1.3 | Reconoce construcciones intelectuales de pueblos ancestrales para una comprensión integral y alternativa del cosmos y la armonía. | D3 | P3 | Reconocimiento explícito de conocimiento propio; distingue P3 de su posterior uso aplicado. |
| E12 | MEDC 2025f ·Bachillerato | 79 | Filosofía ·CE.CS.F.5.5 | Compara pensamiento filosófico occidental/latinoamericano y discute construcciones intelectuales de pueblos ancestrales. | D3 | P4 | El conocimiento ancestral cumple función comparativa, argumentativa y cognitiva. |
| E13 | MEDC 2025f ·Bachillerato | 82 | Matemática ·OG.M.5 | Vincula matemática, disciplinas científicas y saberes ancestrales para plantear soluciones a problemas de la realidad. | D3 | P4 | Función aplicada explícita: resolución de problemas y articulación entre sistemas de conocimiento. |

*Nota.* Elaboración propia.

CAPÍTULO 9

# El Kawsay Raymi como matriz epistémica andina: diálogo de saberes, territorialidad y respuestas comunitarias ante el cambio climático

*Kawsay Raymi as an Andean epistemic matrix: dialogue of knowledges, territoriality and community responses to climate change*

**1 Néstor Caral Ramos**
*Magíster en Educación Comunal*
Universidad Autónoma Comunal de Oaxaca, CUC Matías Romero, Ecuador
irparuway@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6161-7942

**2 Willy John Chamba Soto**
*Magíster en Derecho Constitucional*
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
willyjohn1@outlook.es
https://orcid.org/0009-0003-7899-6979

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_9 RECIBIDO 11/09/2026 | ACEPTADO 21/10/2026

## RESUMEN

Este artículo examina el potencial interpretativo del Kawsay Raymi como matriz epistémica situada para comprender relaciones entre temporalidad ritual, territorialidad, reciprocidad y decisiones comunitarias vinculadas con la variabilidad climática. Se desarrolla una investigación cualitativa de carácter documental, hermenéutico y comparativo, basada en literatura científica y documentos institucionales sobre conocimientos indígenas, adaptación climática y experiencias agroecológicas de la región andina y Mesoamérica. Se propone un modelo analítico de cuatro dimensiones —relacionalidad, temporalidad socioecológica, reciprocidad organizativa y reproducción biocultural— que permite diferenciar la noción de matriz epistémica de los marcos ético-políticos del Buen Vivir y el Sumak Kawsay. Los hallazgos consisten en una síntesis interpretativa de experiencias documentadas: la siembra y cosecha de agua en Ayacucho, los diálogos entre conocimiento local y ciencia climática en los Andes ecuatorianos, la milpa maya y las formas de planificación indígena territorial del Cauca como referencia que requiere ampliación documental específica. Se advierte que la evidencia disponible no demuestra la eficacia universal de los Raymis como tecnología climática ni permite identificar reducción cuantificada de emisiones. Se concluye que las prácticas socioculturales ligadas a los ciclos agrícolas pueden constituir espacios de aprendizaje colectivo y gobernanza adaptativa bajo condiciones territoriales concretas; para evaluar sus resultados se requieren diseños participativos, indicadores situados y acuerdos de gobernanza de datos.

**Palabras clave:** Kawsay Raymi, epistemologías indígenas, adaptación climática, reciprocidad, agrobiodiversidad, gobernanza territorial

## ABSTRACT

This article examines the interpretive potential of Kawsay Raymi as a situated epistemic matrix for understanding the relationships between ritual temporality, territoriality, reciprocity and community

decisions linked to climate variability. A qualitative, documentary, hermeneutic and comparative study was conducted, based on scientific literature and institutional documents on Indigenous knowledge, climate adaptation and agroecological experiences in the Andean region and Mesoamerica. A four-dimensional analytical model is proposed —relationality, socio-ecological temporality, organizational reciprocity and biocultural reproduction— which makes it possible to distinguish the notion of epistemic matrix from the ethical-political frameworks of Buen Vivir and Sumak Kawsay. The findings consist of an interpretive synthesis of documented experiences: water sowing and harvesting in Ayacucho, dialogues between local knowledge and climate science in the Ecuadorian Andes, the Maya milpa, and forms of Indigenous territorial planning in Cauca as a reference that requires specific documentary expansion. The available evidence does not demonstrate the universal effectiveness of the Raymis as a climate technology, nor does it allow a quantified reduction in emissions to be identified. It is concluded that sociocultural practices linked to agricultural cycles may constitute spaces for collective learning and adaptive governance under specific territorial conditions; evaluating their outcomes requires participatory designs, situated indicators and data governance agreements.

**Keywords:** Kawsay Raymi, Indigenous epistemologies, climate adaptation, reciprocity, agrobiodiversity, territorial governance

## 1. Introducción

El cambio climático constituye una alteración del sistema climático cuya evolución y riesgos se documentan mediante observaciones biofísicas y evaluaciones científicas internacionales (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). La expresión “crisis climática”, en cambio, incorpora además una lectura normativa de las desigualdades de exposición, vulnerabilidad, responsabilidades y capacidades de respuesta. Ambas categorías pueden complementarse: la evidencia climática establece cambios, atribuciones y escenarios, mientras la reflexión crítica examina sus condiciones sociales y políticas.

En los territorios indígenas, las alteraciones de lluvias, temperaturas y disponibilidad de agua se entrelazan con presiones sobre los sistemas agroalimentarios, transformaciones demográficas, acceso desigual a recursos y disputas por la gobernanza territorial. El conocimiento indígena y local aporta observaciones de larga duración y criterios situados; al mismo tiempo, sus aplicaciones presentan diferencias entre comunidades y requieren contrastes metodológicos específicos (IPCC, 2023; López et al., 2017).

La literatura sobre Buen Vivir, relacionalidad y ecología política ha señalado el carácter plural de las relaciones entre comunidades y naturaleza. Sin embargo, para estudiar la función de las festividades agrícolas no basta invocar estos marcos de manera general: es necesario especificar qué relaciones analíticas articulan la observación ecológica, los ciclos temporales, el intercambio y la decisión colectiva. Ese es el vacío conceptual que aborda el presente trabajo, sin presuponer que todo Raymi tiene idéntica organización o significado en cualquier territorio.

La pregunta orientadora es: ¿en qué condiciones puede interpretarse el Kawsay Raymi como una matriz epistémica situada que articula saberes territoriales y formas de organización comunitaria relevantes para la adaptación al cambio climático? El objetivo es desarrollar una

conceptualización analítica, contrastarla con casos documentales y precisar sus potencialidades, límites e implicaciones de investigación y política pública.

### 1.1. Kawsay Raymi y pluralidad de tradiciones andinas

En este estudio, "Kawsay Raymi" se usa como categoría analítica de las celebraciones y prácticas relacionadas con los ciclos de la vida, no como denominación etnográfica homogénea documentada en todos los pueblos andinos. La asociación entre Pawkar, Inti, Killa y Kapak Raymi constituye una esquematización que debe cotejarse con denominaciones, temporalidades y significados locales. Los nombres de festividades, la organización agrícola y las autoridades de cada territorio no son intercambiables.

Llamar "matriz epistémica" a esta articulación significa, de modo operativo, identificar principios y procedimientos mediante los cuales una colectividad reconoce señales del entorno, interpreta cambios, valida conocimientos, transmite aprendizajes y organiza decisiones. Se trata de una propuesta conceptual a contrastar empíricamente, no de una propiedad demostrada de todos los Raymis.

La evidencia internacional reciente distingue entre conocimientos indígenas como prácticas situadas y su conceptualización abstracta. Laats y van Norren (2026) vinculan agricultura, biodiversidad, reciprocidad y autonomía territorial en los Andes y la Amazonía, pero no equiparan tales nociones con un calendario ritual uniforme. Por ello, la originalidad aquí defendida es analítica: proponer cuatro dimensiones observables de articulación entre temporalidad, relaciones territoriales, cooperación y circulación de conocimiento, susceptibles de contraste empírico posterior.

### 1.2. Diferencias entre conceptos próximos

La Tabla 1 presenta la delimitación conceptual de las categorías analíticas.

**Tabla 1**

*Delimitación conceptual de las categorías analíticas*

| Concepto | Función en este artículo | Límite analítico |
|---|---|---|
| Pachamama | Relaciones ontológicas y éticas con territorio, vida y temporalidad | No equivale automáticamente a un indicador ambiental |
| Sumak Kawsay / Buen Vivir | Horizonte normativo y político sobre vida digna y relaciones comunitarias | No describe por sí solo el procedimiento de decisión |
| Matriz epistémica del Raymi | Hipótesis de articulación entre ciclos, interpretación, memoria y acción colectiva | Requiere evidencias situadas sobre prácticas específicas |
| Justicia climática | Distribución de responsabilidades, riesgos y reconocimiento de derechos | No es un efecto empírico atribuible a una festividad |

| Concepto | Función en este artículo | Límite analítico |
|---|---|---|
| Ecología política decolonial | Enfoque crítico de relaciones de poder y jerarquías del conocimiento | No sustituye el examen de mecanismos causales |
| Adaptación / mitigación | Adaptación: reducir vulnerabilidad; mitigación: reducir emisiones o aumentar sumideros | No se debe llamar mitigación a cualquier protección agrícola |

*Nota.* Elaboración propia.

### 1.3. Propuesta de cuatro dimensiones

Se propone estudiar: (a) relacionalidad territorial: vínculos normativos y prácticos entre comunidad y entorno; (b) temporalidad socioecológica: lectura de estaciones, lluvias, ciclos productivos y celebraciones; (c) reciprocidad y gobernanza: acuerdos, minka o trabajo colectivo, distribución de recursos y resolución de controversias; y (d) reproducción biocultural: conservación y circulación de variedades, memoria, lengua y transmisión intergeneracional. La interacción entre dimensiones constituye una hipótesis de trabajo que debe contrastarse en territorios específicos.

Los hallazgos de estudios publicados entre 2023 y 2026 se integran como antecedentes y contraste, no como datos primarios generados por este trabajo. Galappaththi y Schlingmann (2023) examinan 98 artículos; Dorji et al. (2024), 71 estudios; y Abas et al. (2026), 59 estudios sobre gestión forestal indígena. Sus unidades y territorios son diferentes, por lo que permiten discutir mecanismos y limitaciones, pero no verificar por sí solos las ceremonias específicas del Kawsay Raymi.

## 2. Metodología de la revisión

El diseño de esta versión es cualitativo, documental, interpretativo y comparativo. La unidad de análisis son las relaciones descritas por publicaciones científicas y documentos institucionales entre prácticas socioecológicas indígenas y respuestas a riesgos climáticos. Se analizan cuatro referentes: (1) siembra y cosecha de agua en Ayacucho; (2) estudios sobre conocimiento local y cambio climático en los Andes ecuatorianos, que no deben confundirse con evidencia específica de las asambleas de Cotacachi mencionadas en la versión original; (3) milpa maya de Yucatán; y (4) Planes de Vida indígenas del Cauca como caso conceptual cuya caracterización particular exige fuentes adicionales para sostener afirmaciones concretas.

Los criterios de inclusión del corpus fueron: pertinencia explícita con conocimientos indígenas o locales y gobernanza socioecológica; disponibilidad de identificación bibliográfica o URL institucional; contribución al contraste de mecanismos de adaptación y organización; y diversidad regional. Se priorizaron evaluaciones científicas, artículos revisados por pares y fuentes institucionales identificables. La selección es intencional, no exhaustiva: no se presenta como revisión sistemática ni como metanálisis.

El procedimiento analítico consistió en lectura temática y comparación de: contexto territorial; sujeto colectivo y prácticas; riesgo o desafío; mecanismo descrito; respaldo documental; alcance

inferencial; y límites. Las inferencias fueron clasificadas en tres niveles: evidencia reportada por la fuente, interpretación teórica de los autores de este artículo y propuesta de política pública. La convergencia documental se considera apoyo interpretativo, no demostración causal.

No se reportan entrevistas, observación participante, comunidades participantes ni testimonios originales, porque el expediente del manuscrito examinado no proporciona registros que permitan documentar tales actividades. Si los autores disponen de cuadernos de campo, consentimientos y registros, podrá elaborarse una ampliación etnográfica independiente. Esta declaración evita atribuir al estudio un trabajo de campo que no consta en los documentos disponibles.

Limitaciones: corpus acotado y heterogéneo; ausencia de mediciones directas de emisiones, rendimiento agrícola o recarga hídrica; diversidad entre territorios; y dependencia de las escalas analíticas de cada publicación. Los resultados no pueden generalizarse a todos los pueblos andinos ni establecer relaciones causales entre participación ritual y resultados climáticos.

## 3. Desarrollo de la revisión

### 3.1. Relacionalidad, reciprocidad y gestión del agua: Ayacucho

La gestión comunitaria del agua permite examinar cómo infraestructuras y organización social se articulan para responder a estrés hídrico. La Unidad Ejecutora Fondo Sierra Azul, del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, documentó en marzo de 2026 intervenciones de siembra y cosecha de agua en Ayacucho, incluida la localidad de Iquicha (Huanta), mediante qochas, zanjas de infiltración y diques destinados a favorecer recarga y regulación hídrica (Unidad Ejecutora Fondo Sierra Azul, 2026). Esta fuente respalda la existencia de intervenciones e intención de adaptación, pero no demuestra por sí sola el alcance de los rituales, la identidad lingüística específica de todos los participantes ni resultados hidrológicos cuantificados de largo plazo.

Desde la propuesta de matriz epistémica, la dimensión pertinente es la coordinación entre decisiones territoriales, cooperación y cuidado de los sistemas de agua. En cambio, resulta inapropiado presentar la práctica como evidencia de que una cosmología específica produjo por sí misma recarga de acuíferos sin evaluación hidrológica y etnográfica simultánea.

### 3.2. Conocimiento local y variabilidad climática en los Andes ecuatorianos

López et al. (2017) presentan un enfoque híbrido de investigación que vincula sistemas de conocimiento científico y de pequeños productores en los Andes ecuatorianos. Su relevancia reside en reconocer que los cambios ambientales son registrados e interpretados a distintas escalas y mediante estrategias epistemológicas complementarias. El estudio aporta apoyo a una estrategia de diálogo de conocimientos, no a la descripción puntual —no documentada en las fuentes aquí examinadas— de que determinados bioindicadores del chilco o anidación de aves sean evaluados por asambleas durante el Killa Raymi en Cotacachi.

La consecuencia metodológica es fundamental: la relación entre calendario ceremonial, observaciones biofísicas y ajustes de siembra debe formularse como hipótesis investigable. Para confirmarla se necesitarían registros fechados de observaciones, acuerdos comunitarios, medidas de lluvia y decisiones productivas, con autorización de las comunidades involucradas.

La investigación empírica de Hualpa et al. (2025), desarrollada en un gradiente altitudinal del sur del Ecuador, ofrece evidencia sobre conocimientos campesinos e indígenas de manejo de suelos. Su contribución sustenta la importancia de prácticas localizadas y diferencias ecológicas, pero no prueba una asociación causal entre los cuatro Raymis y mejores resultados climáticos en Cotacachi.

### 3.3. Temporalidad de los Raymis como modelo interpretativo

Los cuatro momentos mencionados en el manuscrito pueden leerse como una propuesta pedagógica para estudiar la coordinación entre celebración, producción y memoria socioecológica. No obstante, vincular cada momento con un mecanismo agronómico universal o con una eficacia climática concreta excede la documentación examinada. La Tabla 2 reemplaza atribuciones causales no acreditadas por preguntas y variables observables.

**Tabla 2**

*Dimensiones temporales propuestas y evidencia requerida*

| Referencia temporal propuesta | Dimensión para investigar | Evidencia necesaria para validarla |
|---|---|---|
| Pawkar Raymi (marzo, en ciertos contextos) | Floración, agua, observación de cultivos | Calendario local, registros fenológicos y testimonios documentados |
| Inti Raymi (junio, en ciertos contextos) | Cosechas, intercambio, memoria y acuerdos | Actas o registros comunitarios, almacenamiento y prácticas locales |
| Killa Raymi (septiembre, en ciertos contextos) | Preparación agrícola, semillas y organización | Cronogramas de siembra, fuentes comunitarias y registros de semillas |
| Kapak Raymi (diciembre, en ciertos contextos) | Renovación y reproducción de conocimientos | Registros etnográficos y diferencias entre localidades |

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.4. Agrobiodiversidad y milpa maya: comparación limitada

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reconoce a la milpa maya de Yucatán —Ich Kool— como sistema tradicional de policultivo y manejo territorial con dimensiones productivas, culturales y biológicas; su reconocimiento como Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial data de 2022 (FAO, s. f.). La FAO también documentó en 2024 proyectos de bancos comunitarios de semillas y recuperación de prácticas agroalimentarias tradicionales en México (FAO, 2024; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, s. f.). Son evidencias sobre agrobiodiversidad y gestión agroecológica, no demostración de equivalencia institucional o ritual con los Raymis andinos.

Los Planes de Vida mencionados en la versión inicial pueden ser pertinentes como mecanismos de planificación y autonomía indígena, pero no se incorpora aquí la afirmación de una prohibición

generalizada de agroquímicos por pueblos nasa y misak ni de impactos demostrados sobre cuencas, por falta de una fuente primaria específica comprobada dentro de este expediente. Cualquier descripción institucional detallada deberá apoyarse en documentos de las autoridades correspondientes.

## 4. Discusión

### 4.1. Contribución teórica y alcance de la inferencia

La contribución propuesta consiste en desplazar el análisis del Raymi desde una lectura exclusivamente festiva hacia una pregunta verificable sobre producción, transmisión y aplicación colectiva del conocimiento. En lugar de asumir que la ritualidad asegura adaptación, el modelo interroga si, cómo y en qué condiciones las prácticas celebratorias se conectan con observación ambiental y decisiones sobre agua, semillas y calendarios. Así, la formulación se distingue del Buen Vivir, entendido como horizonte normativo, y de la ecología política decolonial, utilizada como lente crítica de poder.

La perspectiva propuesta admite la complementariedad entre ciencia climática, hidrología, observación campesina y gobernanza comunitaria. La relación no debe describirse como sustitución automática de tecnologías por ancestralidad: algunos territorios combinan infraestructura, organización local, asistencia técnica y marcos públicos, y el valor de cada componente se evalúa según contexto.

La literatura reciente recomienda distinguir adaptación y mitigación. Chanza et al. (2024) revisan intersecciones entre conocimientos indígenas y mitigación de gases de efecto invernadero, sin convertir cualquier práctica ancestral en reducción verificada de emisiones. Dorji et al. (2024) identifican usos de conocimientos indígenas en pronósticos, agricultura y preparación frente a riesgos climáticos. En consecuencia, este artículo utiliza “adaptación” para ajustes ante impactos y reserva “mitigación” para intervenciones con evidencia de reducción de emisiones o aumento de absorciones.

### 4.2. Tensiones y diversidad territorial

Las prácticas indígenas no constituyen un sistema uniforme ni exento de conflictos. Migración de jóvenes, cambios generacionales en la transmisión lingüística, disponibilidad desigual de tierra y agua, disputas por representación, escasez de financiamiento y presiones productivas pueden condicionar su continuidad. También existen diferencias entre ritualidades y calendarios de comunidades kichwa ecuatorianas, quechuas peruanas y pueblos mesoamericanos. Tales tensiones obligan a evitar definiciones esencialistas de una “epistemología andina” homogénea.

Igualmente, la articulación con sistemas científicos requiere reglas sobre autoría, consentimiento, gobernanza de datos y control comunitario de conocimientos, para evitar extracción epistémica. Que una práctica sea ancestral no implica que deba aceptarse sin contraste de consecuencias ecológicas, ni que el conocimiento técnico externo tenga prioridad automática.

En cuanto a las limitaciones, Galappaththi y Schlingmann (2023) señalan que las respuestas de adaptación pueden combinar beneficios y vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales. Abas et al. (2026) identifican como condiciones relevantes la tenencia territorial, transmisión de conocimientos y autoridad comunitaria. Estos resultados respaldan la necesidad de evitar idealizaciones y de evaluar las condiciones institucionales bajo las cuales las prácticas locales contribuyen a la resiliencia.

### 4.3. Comparación regional

**Tabla 3**

*Comparación regional de referentes documentales*

| Criterio | Andes: Raymis / agua | Yucatán: milpa maya | Cauca: Planes de Vida |
|---|---|---|---|
| Objeto de referencia | Festividades y gestión socioecológica; agua documentada en Ayacucho | Policultivo y gestión biocultural documentados por FAO | Planificación territorial citada en manuscrito original |
| Convergencia posible | Colectividad, memoria territorial | Diversidad agrícola y transmisión cultural | Autodeterminación y planeación comunitaria |
| Diferencia relevante | Temporalidad ceremonial heterogénea | Sistema de producción agroforestal | Instrumento organizativo y de planificación |
| Estado de evidencia en esta revisión | Intervención hídrica documentada; nexo ritual pendiente | Institucionalmente documentado | Requiere fuente primaria institucional específica |

*Nota.* Elaboración propia.

El contraste muestra analogías útiles para formular preguntas, pero no equivalencia de prácticas ni superioridad relativa. Asimismo, documentar adaptación local no permite extrapolar automáticamente efectos de mitigación de gases de efecto invernadero (véase la Tabla 3).

### 4.4. Implicaciones para política pública: propuestas, no resultados demostrados

De la discusión se derivan orientaciones para investigación y gobernanza: promover observatorios climáticos participativos que vinculen indicadores locales y series instrumentales; apoyar bancos y redes comunitarias de semillas donde exista demanda territorial; desarrollar protocolos de consentimiento y protección del conocimiento; e incluir representantes legítimos de comunidades en el diseño, presupuesto y evaluación de medidas de adaptación. Estas son propuestas normativas inferidas del análisis documental y deben someterse a evaluación jurídica, financiera, social y ambiental previa a su adopción.

La discusión comparada refuerza una contribución delimitada: el Kawsay Raymi constituye una hipótesis de organización epistémica situada, no un indicador demostrado de eficacia climática. Laats y van Norren (2026) aportan una lectura latinoamericana de reciprocidad, agrobiodiversidad y autonomía, mientras que la investigación ecuatoriana de Hualpa et al. (2025) muestra la

relevancia de estudios empíricos territoriales. La extrapolación entre regiones requiere comparar fuentes de igual calidad, prácticas efectivamente descritas y resultados observables.

## 5. Conclusiones

Primera. El Kawsay Raymi puede formularse, con carácter provisional, como matriz epistémica situada al estudiar relaciones entre temporalidad socioecológica, reciprocidad, gobernanza y reproducción biocultural; su definición requiere contrastación etnográfica y reconocimiento de las diferencias entre pueblos y territorios.

Segunda. La revisión documental identifica experiencias relevantes de gestión hídrica en Ayacucho, conocimiento local en los Andes ecuatorianos y agrobiodiversidad en la milpa maya. Esas experiencias ilustran posibles vías de adaptación y articulación de conocimientos, pero no demuestran causalidad entre celebración ritual y reducción del riesgo climático.

Tercera. El diálogo entre conocimiento local y herramientas científicas presenta oportunidades para reconocer señales territoriales y fortalecer decisiones participativas, siempre que existan mecanismos transparentes de validación, consentimiento y gobernanza.

Cuarta. La evidencia examinada no autoriza establecer que los sistemas comunitarios sean universalmente los más eficaces ni que se hayan cuantificado impactos de mitigación de emisiones. La principal contribución del estudio es conceptual y comparativa; su utilidad empírica dependerá de nuevas investigaciones colaborativas.

### 5.1. Recomendaciones e investigación futura

Se recomienda codiseñar con comunidades investigaciones que registren calendarios locales, indicadores ecológicos, prácticas de organización y resultados observables; contrastar series instrumentales y observaciones territoriales; comparar resultados entre comunidades sin asumir homogeneidad; y desarrollar evaluaciones de adaptación con criterios definidos por actores comunitarios y técnicos. Los eventuales marcos de protección de conocimientos y semillas deberán elaborarse respetando los regímenes jurídicos aplicables y las decisiones de sus titulares colectivos.

## Referencias bibliográficas

Abas, A., Abd Rahman, A. H., Juhari, M. L., Echoh, D. U., & Jamru, L. R. (2026). Indigenous peoples' forest management practices for climate change adaptation: A systematic literature review. Discover Sustainability. https://doi.org/10.1007/s43621-026-04950-8

Chanza, N., Musakwa, W., & Kelso, C. (2024). Overlaps of indigenous knowledge and climate change mitigation: Evidence from a systematic review. Frontiers in Climate, 6, Article 1344931. https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1344931

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s. f.). *La milpa*. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa

Dorji, T., Rinchen, K., Morrison-Saunders, A., Blake, D., Banham, V., & Pelden, S. (2024). Understanding how Indigenous knowledge contributes to climate change adaptation and resilience: A systematic literature review. Environmental Management, 74, 1101–1123. https://doi.org/10.1007/s00267-024-02032-x

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). *Ich Kool: Mayan milpa of the Yucatan peninsula, Mexico*. https://www.fao.org/giahs/around-the-world/detail/mexico-milpa-maya/en

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024, 22 de mayo). *Los sistemas agroalimentarios tradicionales conservan la biodiversidad y apoyan la nutrición en México*. https://www.fao.org/newsroom/story/traditional-agrifood-systems-conserve-biodiversity-and-support-nutrition-in-mexico/es

Galappaththi, E. K., & Schlingmann, A. (2023). The sustainability assessment of Indigenous and local knowledge-based climate adaptation responses in agricultural and aquatic food systems. Current Opinion in Environmental Sustainability, 62, Article 101276. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101276

Hualpa, G., Carrión-Paladines, V., Jiménez, W., Capa-Mora, D., Quichimbo, P., Fierro, N., & Jiménez, L. (2025). Farmers' Indigenous knowledge of soil management in an altitudinal gradient in southern Ecuador. Sustainability, 17(11), Article 4983. https://doi.org/10.3390/su17114983

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Laats, H., & van Norren, D. (2026). The indigenous management of biodiversity and agriculture in the Andes and Amazon regions. Agroecology and Sustainable Food Systems, 50(10), 2614–2637. https://doi.org/10.1080/21683565.2026.2667753

López, S., Jung, J.-K., & López Sandoval, M. F. (2017). A hybrid-epistemological approach to climate change research: Linking scientific and smallholder knowledge systems in the Ecuadorian Andes. *Anthropocene, 17*, 30–45. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.01.001

Unidad Ejecutora Fondo Sierra Azul. (2026, 4 de marzo). *Siembra y cosecha de agua fortalece seguridad hídrica y mejora calidad de vida de comunidades altoandinas en Ayacucho*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. https://www.gob.pe/institucion/sierraazul/noticias/1361590-siembra-y-cosecha-de-agua-fortalece-seguridad-hidrica-y-mejora-calidad-de-vida-de-comunidades-altoandinas-en-ayacucho

CAPÍTULO 10

# Transformación digital y turismo: patrimonio cultural y participación comunitaria en los destinos turísticos

*Digital transformation and tourism: cultural heritage and community participation in tourist destinations*

1 **Diana Carolina Gallo Ricaurte**
*Magíster en Pedagogía con mención en Formación Técnica Profesional*
Universidad Bolivariana del Ecuador, Ecuador
caridi352@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-5028-955X

2 **Jessica Eliana Filian Rodríguez**
*Magíster en Turismo, mención en Gestión Sostenible en Destinos Turísticos*
Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador
jfilian@utb.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-2554-0399

3 **Marjorie Maleni Montecé Macías**
*Magíster en Turismo, mención en Turismo Sostenible Inteligente*
Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador
mmontecem@utb.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-5469-6598

4 **Daniel Gustavo Lemos Beltrán**
*Magíster en Marketing*
Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador
dlemos@utb.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-3027-4013

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_10 RECIBIDO 11/09/2026 | ACEPTADO 19/10/2026

## RESUMEN

La transformación digital ofrece oportunidades para la difusión y valorización del patrimonio cultural, aunque no garantiza por sí misma una participación comunitaria efectiva. El objetivo fue analizar la relación entre transformación digital turística, valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria en Guayaquil, Ecuador. Se desarrolló un estudio cuantitativo, no experimental, transversal y descriptivo-correlacional, con una muestra no probabilística por conveniencia de 100 participantes vinculados al sector turístico. Los datos se recopilaron mediante un cuestionario estructurado con escala Likert de cinco puntos y se analizaron con estadística descriptiva y el coeficiente rho de Spearman en IBM SPSS Statistics. Se observaron asociaciones positivas entre las tres variables. La de mayor magnitud correspondió a la transformación digital turística y la valorización del patrimonio cultural ($\rho = 0{,}318$), seguida de las asociaciones entre valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria ($\rho = 0{,}176$), y transformación digital turística y participación comunitaria ($\rho = 0{,}143$). Los resultados aportan evidencia contextual sobre las relaciones entre estas dimensiones, pero deben interpretarse considerando las limitaciones del muestreo y del diseño correlacional, que impiden establecer causalidad y restringen la generalización de los hallazgos.

**Palabras clave:** transformación digital turística, turismo, patrimonio cultural, participación comunitaria, destinos turísticos

**ABSTRACT**

Digital transformation offers opportunities to disseminate and enhance cultural heritage, although it does not in itself guarantee effective community participation. This study aimed to analyze the relationship between tourism digital transformation, cultural heritage valorization, and community participation in Guayaquil, Ecuador. A quantitative, non-experimental, cross-sectional, descriptive-correlational study was conducted with a non-probability convenience sample of 100 participants linked to the tourism sector. Data were collected through a structured questionnaire using a five-point Likert scale and analyzed through descriptive statistics and Spearman's rho in IBM SPSS Statistics. Positive associations were observed among the three variables. The strongest association was between tourism digital transformation and cultural heritage valorization ($\rho = 0.318$), followed by the associations between cultural heritage valorization and community participation ($\rho = 0.176$), and tourism digital transformation and community participation ($\rho = 0.143$). The findings provide contextual evidence on the relationships among these dimensions; however, they should be interpreted in light of the limitations of the sampling method and correlational design, which preclude causal inferences and restrict the generalizability of the finding.

**Keywords:** tourism digital transformation, tourism, cultural heritage, community participation, tourist destinations

## 1. Introducción

La transformación digital ha adquirido una creciente importancia en el sector turístico debido a la incorporación de herramientas tecnológicas en la promoción de destinos, la comunicación, el acceso a la información y la construcción de experiencias. Este proceso también ha generado nuevas posibilidades para la difusión y valorización del patrimonio cultural, así como para la interacción entre visitantes, gestores y comunidades locales. Sin embargo, la incorporación de tecnologías digitales no garantiza por sí misma una participación efectiva de las comunidades en los procesos de gestión, difusión y apropiación de su patrimonio.

En el ámbito internacional, esta situación ha impulsado el interés por analizar la relación entre transformación digital, turismo y participación comunitaria. Astuti et al. (2024) evidenciaron la relevancia del empoderamiento de las comunidades locales en los procesos de transformación digital orientados a la preservación cultural y turística. De manera complementaria, Lapuz (2023) destacó el papel del empoderamiento comunitario en los procesos de transformación digital vinculados con el desarrollo del turismo rural.

En relación con el patrimonio cultural, la digitalización constituye un mecanismo para ampliar la visibilidad de los recursos culturales y fortalecer su conexión con los visitantes. Li et al. (2024) analizaron la digitalización de destinos de patrimonio cultural y encontraron una asociación positiva con las actitudes de los turistas, destacando la importancia de la correspondencia entre las tecnologías utilizadas y las características del destino.

Estos hallazgos muestran que las herramientas digitales pueden fortalecer la articulación entre patrimonio y turismo; sin embargo, buena parte de la investigación se ha concentrado en la perspectiva del visitante y en los beneficios para la experiencia turística, mientras que la participación de las comunidades en estos procesos requiere mayor atención. Para abordar

adecuadamente estas complejas relaciones metodológicas y conceptuales en los estudios turísticos, resulta indispensable garantizar un rigor analítico en la selección y tratamiento de las variables, tal como lo señala Baggio (2024) al evaluar la idoneidad metodológica en la investigación turística contemporánea.

Desde la perspectiva institucional y de las políticas públicas, la transformación digital forma parte de las estrategias orientadas al desarrollo productivo y turístico de los países. La Agenda de Transformación Digital del Ecuador 2022–2025 estableció objetivos orientados a impulsar la actividad turística mediante el uso de tecnologías digitales, promoviendo la innovación y la competitividad del sector (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información [MINTEL], 2022).

Estas orientaciones reconocen la digitalización como un componente clave del desarrollo turístico; no obstante, su alcance social depende también de las capacidades de los actores locales para apropiarse de las herramientas digitales y participar en los procesos relacionados con sus territorios. A escala iberoamericana y regional, diversas iniciativas de organismos internacionales —como las capacitaciones impulsadas por la UNESCO (2024) para la gestión de visitantes y la participación comunitaria— recalcan que la salvaguardia del patrimonio exige articular la tecnología con la gobernanza local y el bienestar social, una perspectiva que sintoniza con la necesidad de replantear los indicadores de éxito social en la industria turística, tal como argumenta Vargas-Sánchez (2022).

A esta dimensión tecnológica se suma la importancia del patrimonio cultural como recurso para el desarrollo turístico y la construcción de identidad territorial. En el contexto de los centros históricos y ciudades patrimoniales, Carrión Mena (2023) ha enfatizado los retos históricos y políticos en la valoración del patrimonio latinoamericano durante las últimas décadas. Asimismo, en el ámbito local de Guayaquil, Rivera-Mateos y Santana-Moncayo (2024) analizaron la percepción de los residentes sobre el patrimonio arquitectónico y encontraron potencialidades para fortalecer su integración funcional en la oferta turístico-cultural de la ciudad.

Complementariamente, Barzola Andrade (2024) identificó una valoración positiva de los bienes patrimoniales de las parroquias urbanas de Guayaquil entre residentes, turistas nacionales y extranjeros, aunque señaló limitaciones relacionadas con la actualización y gestión de determinados bienes. A esto se aprecian esfuerzos recientes sobre el uso de estrategias narrativas y tecnológicas, como el rol del *storytelling* analizado por Ruiz Murillo et al. (2025) en comunidades de la provincia del Guayas para la conservación patrimonial. Estos antecedentes evidencian posibilidades de articulación entre patrimonio y turismo, pero también la necesidad de fortalecer los procesos mediante los cuales la población local reconoce, participa y se vincula con estos recursos.

En la provincia del Guayas, esta problemática adquiere especial relevancia debido a la diversidad de manifestaciones culturales y recursos patrimoniales presentes en sus territorios. La incorporación de herramientas digitales puede ampliar las posibilidades de promoción y difusión turística; sin embargo, todavía resulta necesario comprender en qué medida estos procesos involucran a las comunidades locales y se relacionan con su participación. La evidencia disponible

muestra estudios sobre transformación digital, patrimonio cultural y turismo abordados desde diferentes perspectivas, pero son todavía limitados los trabajos que analizan conjuntamente estas dimensiones desde la percepción de los actores vinculados al sector turístico.

Esta brecha resulta relevante porque la digitalización puede desarrollarse principalmente desde una perspectiva tecnológica o promocional sin garantizar la participación de las comunidades en la generación de contenidos, la toma de decisiones, la difusión de sus manifestaciones culturales o la definición de las formas en que su patrimonio es incorporado a la actividad turística. Por ello, resulta necesario analizar la transformación digital turística no solo como un proceso de adopción tecnológica, sino también en relación con las condiciones de participación comunitaria y valorización del patrimonio cultural.

En consecuencia, el problema de investigación se centra en la necesidad de determinar cómo se relacionan la transformación digital turística, la valorización del patrimonio cultural y la participación comunitaria en un contexto turístico específico de la provincia del Guayas. La ausencia de evidencia empírica integrada sobre estas dimensiones limita la comprensión de la manera en que la incorporación de herramientas digitales se relaciona con las oportunidades de participación de los actores locales y con la valorización de los recursos patrimoniales. Abordar esta problemática permite analizar la transformación digital turística desde una perspectiva social y cultural, considerando su articulación con el patrimonio cultural y la participación comunitaria en los destinos turísticos.

Por lo expuesto, el objetivo de la presente investigación fue *analizar la relación entre la transformación digital, la valorización del patrimonio cultural y la participación comunitaria en un destino turístico de la provincia del Guayas, Ecuador.* De manera específica, se buscó *describir la percepción de los actores vinculados al sector turístico sobre la transformación digital; caracterizar su percepción respecto a la valorización del patrimonio cultural y la participación comunitaria; y analizar la relación entre las tres variables en el contexto turístico estudiado.* En correspondencia con este planteamiento, se formularon tres hipótesis de investigación: *H1, existe una relación estadísticamente significativa entre la transformación digital turística y la valorización del patrimonio cultural; H2, existe una relación estadísticamente significativa entre la transformación digital turística y la participación comunitaria; y H3, existe una relación estadísticamente significativa entre la valorización del patrimonio cultural y la participación comunitaria.*

## 2. Métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y corte transversal, y alcance descriptivo-correlacional. Se analizaron las percepciones sobre la transformación digital turística, la valorización del patrimonio cultural y la participación comunitaria en el contexto turístico de Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador. Este diseño permitió describir las valoraciones de los participantes y examinar las asociaciones entre las variables, sin manipularlas ni establecer relaciones causales.

La transformación digital turística se conceptualizó a partir del uso de herramientas digitales para la promoción, la comunicación, el acceso a información y la gestión de actividades y servicios turísticos. La valorización del patrimonio cultural comprendió el reconocimiento de su importancia, así como su conservación, difusión y transmisión. Por su parte, la participación comunitaria se abordó desde el involucramiento de los actores locales en actividades turísticas y culturales, la colaboración con otros actores del sector y su intervención en procesos de planificación y toma de decisiones relacionados con el turismo y el patrimonio cultural.

Desde una perspectiva conceptual, la participación comunitaria constituye un proceso de involucramiento colectivo que puede expresarse mediante la colaboración, la organización social, la intervención en actividades relacionadas con el patrimonio y la participación en decisiones que afectan al territorio. Esta perspectiva reconoce que la participación trasciende las percepciones individuales e involucra dimensiones de gobernanza y acción colectiva. No obstante, debido al diseño metodológico y al instrumento empleado, en esta investigación se examinó a partir de las percepciones de los participantes, sin pretender medir exhaustivamente las estructuras organizativas, los mecanismos formales de gobernanza ni los niveles efectivos de participación colectiva existentes en el territorio.

La operacionalización de las variables se estableció en correspondencia con los objetivos de investigación. Para la transformación digital turística se definieron las dimensiones promoción y comunicación digital, y acceso y gestión digital. Para la valorización del patrimonio cultural se consideraron las dimensiones reconocimiento e importancia del patrimonio, y conservación y difusión. Finalmente, la participación comunitaria se estructuró en las dimensiones involucramiento y colaboración, y participación en la toma de decisiones. Cada dimensión se vinculó con indicadores específicos, una técnica de encuesta, un cuestionario y una escala de medición tipo Likert de cinco puntos. La distribución de las variables, dimensiones, indicadores y los 18 ítems correspondientes se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Operacionalización de las variables*

| Variable | Dimensión | Indicadores | Técnica | Instrumento | Escala de medición | Ítems |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Transformación digital turística** | Promoción y comunicación digital | Uso de redes sociales y medios digitales para la promoción turística | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 1 |
| | | Uso de medios digitales para comunicar información turística | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 2 |
| | | Difusión digital de atractivos y servicios turísticos | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 3 |

| Variable | Dimensión | Indicadores | Técnica | Instrumento | Escala de medición | Ítems |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Acceso y gestión digital | Acceso a información turística mediante herramientas digitales | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 4 |
| | | Utilización de herramientas digitales para la gestión turística | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 5 |
| | | Uso de recursos digitales para mejorar los servicios turísticos | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 6 |
| **Valorización del patrimonio cultural** | Reconocimiento e importancia del patrimonio | Reconocimiento del valor cultural de los recursos patrimoniales | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 7 |
| | | Percepción de la importancia del patrimonio cultural para el turismo | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 8 |
| | | Reconocimiento de la identidad cultural vinculada al patrimonio | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 9 |
| | Conservación y difusión | Acciones orientadas a la conservación del patrimonio cultural | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 10 |
| | | Difusión del patrimonio cultural entre visitantes y población local | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 11 |
| | | Transmisión de conocimientos y manifestaciones culturales | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 12 |
| **Participación comunitaria** | Involucramiento y colaboración | Participación de la comunidad en actividades turísticas y culturales | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 13 |
| | | Colaboración entre la comunidad y los actores del sector turístico | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 14 |
| | | Participación comunitaria en acciones relacionadas con el patrimonio cultural | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 15 |
| | Participación en la toma de decisiones | Inclusión de la comunidad en decisiones relacionadas con el turismo | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 16 |

| Variable | Dimensión | Indicadores | Técnica | Instrumento | Escala de medición | Ítems |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Consideración de las opiniones y necesidades de la comunidad | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 17 |
| | | Participación de la comunidad en la planificación turística | Encuesta | Cuestionario | Likert de 5 puntos | 18 |

*Nota.* Elaboración propia.

El universo de estudio estuvo conformado por personas vinculadas con la actividad turística en Guayaquil, incluidos profesionales del sector y personas en formación. Los registros oficiales del Ministerio de Turismo se utilizaron como referencia para identificar actores vinculados con la actividad turística, pero no constituyeron un marco muestral probabilístico del que se seleccionara aleatoriamente a los participantes. La incorporación a la muestra dependió de la accesibilidad, la disponibilidad y la aceptación voluntaria de las personas contactadas.

Como criterios de inclusión, se consideró a personas mayores de edad, vinculadas con actividades turísticas en Guayaquil y que aceptaron participar voluntariamente. Se excluyeron los cuestionarios incompletos y aquellos que no cumplían los criterios establecidos.

La muestra estuvo integrada por 100 participantes, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. De ellos, 50 pertenecían al sector privado u operativo, 30 al sector público o de gestión y 20 al ámbito académico o de consultoría. Debido al procedimiento de selección empleado, los resultados no tienen representatividad estadística del conjunto de personas vinculadas con la actividad turística en Guayaquil y deben interpretarse considerando el posible sesgo de selección.

La información se recopiló mediante un cuestionario estructurado de 18 ítems, elaborado a partir de las variables, dimensiones e indicadores definidos en la matriz de operacionalización *(Tabla 1)*. El instrumento se aplicó mediante Google Forms para recoger las percepciones de los participantes sobre la transformación digital turística, la valorización del patrimonio cultural y la participación comunitaria. Los ítems se respondieron mediante una *escala Likert* de cinco puntos, desde 1 = totalmente en desacuerdo hasta 5 = totalmente de acuerdo. Además, se recogieron datos sobre la actividad principal relacionada con el turismo y los años de experiencia, con el propósito de caracterizar a los participantes. La estructura y el contenido del cuestionario se presentan en la *Tabla 2*.

**Tabla 2**

*Ítems del cuestionario aplicado*

| Ítem | Dimensión / sección | Pregunta |
|---|---|---|
| 1 | | ¿Considera que el uso de redes sociales y medios digitales fortalece la promoción de los destinos turísticos? |
| 2 | Promoción y comunicación digital | ¿Considera que los medios digitales facilitan la comunicación de información relevante sobre los destinos y servicios turísticos? |
| 3 | | ¿Considera que las herramientas digitales favorecen la difusión de los atractivos y servicios turísticos del destino? |
| 4 | | ¿Considera que las herramientas digitales facilitan el acceso de los visitantes a información sobre los destinos y sus recursos turísticos? |
| 5 | Acceso y gestión digital | ¿Considera que las herramientas digitales contribuyen a mejorar la gestión de las actividades turísticas en los destinos? |
| 6 | | ¿Considera que el uso de recursos digitales contribuye a mejorar la calidad de los servicios turísticos ofrecidos en el destino? |
| 7 | | ¿Considera que los recursos y manifestaciones culturales del destino son reconocidos por su valor turístico y cultural? |
| 8 | Reconocimiento e importancia del patrimonio | ¿Considera que el patrimonio cultural constituye un elemento importante para el desarrollo de la actividad turística del destino? |
| 9 | | ¿Considera que la valoración del patrimonio cultural contribuye al fortalecimiento de la identidad cultural de la población local? |
| 10 | | ¿Considera que se desarrollan acciones orientadas a la conservación de los recursos y manifestaciones culturales del destino? |
| 11 | Conservación y difusión | ¿Considera que el patrimonio cultural es difundido adecuadamente entre los visitantes y la población local? |
| 12 | | ¿Considera que las actividades turísticas contribuyen a transmitir conocimientos, tradiciones y manifestaciones culturales a las nuevas generaciones? |
| 13 | | ¿Considera que la comunidad participa activamente en actividades relacionadas con el turismo y la cultura del destino? |
| 14 | Involucramiento y colaboración | ¿Considera que existe colaboración entre la comunidad y los actores vinculados con el desarrollo turístico del destino? |
| 15 | | ¿Considera que la comunidad participa en acciones orientadas a la conservación, promoción y valorización del patrimonio cultural? |
| 16 | | ¿Considera que la comunidad es incluida en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo turístico del destino? |
| 17 | Participación en la toma de decisiones | ¿Considera que las opiniones y necesidades de la comunidad son tomadas en cuenta en las decisiones relacionadas con el turismo? |
| 18 | | ¿Considera que la comunidad participa en la planificación de actividades y acciones relacionadas con el turismo del destino? |

*Nota.* Elaboración propia a partir de la matriz de operacionalización de variables.

El instrumento fue sometido a juicio de cinco expertos, quienes evaluaron la pertinencia y claridad de los 18 ítems mediante una escala de cuatro puntos. Todos asignaron la puntuación máxima (4/4) en ambos criterios, con un promedio de 4,00 sobre 4,00. Para evaluar la pertinencia, considerando como favorables las puntuaciones de 3 y 4, se calculó el índice de validez de contenido por ítem (I-CVI, *Item Content Validity Index*) y el índice promedio de validez de contenido de la escala (S-CVI/Ave, *Scale Content Validity Index/Average*). El primero expresa la proporción de expertos que calificaron favorablemente cada ítem, mientras que el segundo corresponde al promedio de los índices obtenidos en el conjunto de ítems. Su cálculo se realizó mediante las siguientes fórmulas:

**Índice de validez de contenido por ítem (I-CVI):**

$$I\text{-}CVI_i = n_i / N$$

**Índice promedio de validez de contenido de la escala (S-CVI/Ave):**

$$S\text{-}CVI/Ave = (\Sigma\ I\text{-}CVI_i) / k$$

Donde $n_i$ representa el número de expertos que calificaron favorablemente el ítem i; N corresponde al número total de expertos; y k representa el número total de ítems evaluados. En este estudio, los cinco expertos calificaron favorablemente los 18 ítems, por lo que cada uno obtuvo un I-CVI de 1,00 (5/5) y el S-CVI/Ave fue de 1,00. Estos resultados reflejan un acuerdo favorable unánime respecto de la pertinencia de los ítems evaluados, aunque no constituyen por sí solos evidencia suficiente de la validez integral del instrumento.

Las respuestas se organizaron en una base de datos y se procesaron mediante *IBM SPSS Statistics*. El análisis descriptivo incluyó frecuencias, porcentajes y medias. La consistencia interna de los ítems de cada variable se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach. Para analizar las asociaciones entre transformación digital turística, valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria, se utilizó el coeficiente rho de Spearman, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. La interpretación consideró la dirección, magnitud y significancia estadística de los coeficientes, sin atribuir causalidad a las asociaciones observadas.

La participación fue voluntaria. Antes de responder el cuestionario, se informó a los participantes sobre el propósito académico del estudio y el uso de la información recopilada. Se procuró preservar la confidencialidad de las respuestas y se respetó la decisión de cada persona de participar o no en la investigación.

## 3. Resultados

### 3.1. Consistencia interna del instrumento

La consistencia interna de las tres variables se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach. Los resultados fueron de 0,842 para transformación digital turística, 0,819 para valorización del patrimonio cultural y 0,856 para participación comunitaria. Estos valores indican una consistencia interna adecuada de los ítems que integran cada variable en la muestra analizada (véase la Tabla 3).

**Tabla 3**

*Consistencia interna de las variables mediante el coeficiente alfa de Cronbach*

| Variable | Ítems | Alfa de Cronbach |
|---|---|---|
| Transformación digital turística | 6 | 0,842 |
| Valorización del patrimonio cultural | 6 | 0,819 |
| Participación comunitaria | 6 | 0,856 |

*Nota.* Elaboración propia a partir de los resultados del cuestionario procesados en IBM SPSS Statistics.

## 3.2. Análisis descriptivo de las variables

El análisis descriptivo permitió identificar diferencias en las medias de las tres variables según el ámbito de actividad y los años de experiencia de los participantes. En el conjunto de la muestra, la participación comunitaria obtuvo la media más alta (3,72), seguida de la transformación digital turística (3,57) y la valorización del patrimonio cultural (3,49).

Según el ámbito de actividad, la transformación digital turística presentó una media de 3,70 entre los participantes del sector privado u operativo, de 3,42 en el sector público o de gestión y de 3,55 en el ámbito académico o de consultoría. En cuanto a la valorización del patrimonio cultural, la media más alta correspondió al sector público o de gestión (3,65), mientras que la participación comunitaria registró su media más alta en ese mismo grupo (3,80).

Respecto de los años de experiencia, los participantes con cinco años o menos obtuvieron una media de 3,60 en transformación digital turística, 3,38 en valorización del patrimonio cultural y 3,82 en participación comunitaria. Por su parte, quienes tenían más de cinco años de experiencia registraron medias de 3,55, 3,58 y 3,64, respectivamente (véase la Tabla 4).

**Tabla 4**

*Medias de las variables según ámbito de actividad y años de experiencia*

| Variable | Total | Privado/operativo | Público/gestión | Academia/consultoría | ≤ 5 años | > 5 años |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Transformación digital turística | 3,57 | 3,70 | 3,42 | 3,55 | 3,60 | 3,55 |
| Valorización del patrimonio cultural | 3,49 | 3,40 | 3,65 | 3,50 | 3,38 | 3,58 |
| Participación comunitaria | 3,72 | 3,65 | 3,80 | 3,75 | 3,82 | 3,64 |

*Nota.* Los valores corresponden a las medias de las respuestas en la escala Likert de cinco puntos. Las categorías de ámbito de actividad y experiencia se presentan de acuerdo con la clasificación utilizada en el estudio. Elaboración propia a partir de los datos de la investigación.

### 3.3. Análisis de correlación entre las variables

Para examinar las asociaciones entre transformación digital turística, valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria, se utilizó el coeficiente rho de Spearman. Los resultados mostraron coeficientes positivos en las tres relaciones analizadas. La asociación de mayor magnitud se observó entre transformación digital turística y valorización del patrimonio cultural ($\rho = 0{,}318$). Las asociaciones entre transformación digital turística y participación comunitaria ($\rho = 0{,}143$), así como entre valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria ($\rho = 0{,}176$), presentaron magnitudes inferiores, según se indica en la *Tabla 5*.

**Tabla 5**

*Correlaciones de Spearman entre las variables de estudio*

| Relación entre variables | Rho de Spearman (ρ) | Significancia bilateral (p) | N |
|---|---|---|---|
| Transformación digital turística – valorización del patrimonio cultural | 0,318 | Verificar en SPSS | 100 |
| Transformación digital turística – participación comunitaria | 0,143 | Verificar en SPSS | 100 |
| Valorización del patrimonio cultural – participación comunitaria | 0,176 | Verificar en SPSS | 100 |

*Nota.* Se utilizó el coeficiente rho de Spearman para examinar las asociaciones entre las variables. El nivel de significancia establecido fue $\alpha = 0{,}05$. Los valores de significancia bilateral deben completarse a partir de la salida original de IBM SPSS Statistics antes de la versión definitiva del manuscrito. Elaboración propia.

En conjunto, los coeficientes indican asociaciones positivas de distinta magnitud entre las variables. La relación entre transformación digital turística y valorización del patrimonio cultural fue la de mayor magnitud, mientras que las dos asociaciones que involucraron la participación comunitaria fueron menores. La interpretación de la significancia estadística de estas relaciones debe realizarse con base en los valores bilaterales confirmados en el análisis estadístico.

## 4. Discusión

Los resultados permiten examinar las asociaciones entre transformación digital turística, valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria en el contexto turístico de Guayaquil. La principal asociación observada correspondió a la transformación digital turística y la valorización del patrimonio cultural ($\rho = 0{,}318$), mientras que las relaciones que involucraron la participación comunitaria presentaron coeficientes de menor magnitud. Este patrón sugiere que las percepciones sobre el uso de herramientas digitales podrían vincularse más estrechamente con la valoración del patrimonio que con la participación comunitaria. Sin embargo, debido al diseño transversal y correlacional, estos resultados no permiten establecer relaciones causales.

La asociación entre transformación digital turística y valorización del patrimonio cultural coincide con la perspectiva de que las tecnologías digitales pueden contribuir a la difusión, documentación y visibilidad de los recursos patrimoniales. Los medios digitales amplían las posibilidades de acceso a la información turística y pueden facilitar la presentación de contenidos culturales a distintos públicos.

No obstante, el coeficiente observado es de magnitud limitada, por lo que no debe interpretarse como evidencia de que una mayor transformación digital produzca necesariamente una mejor conservación o valorización patrimonial. La relación podría depender también de la calidad de los contenidos, las estrategias de gestión, la disponibilidad de recursos y la participación de los actores locales. Esta interpretación es consistente con la literatura que analiza la incorporación de tecnologías en la actividad turística y sus condiciones de implementación (Vargas-Sánchez, 2022; Li et al., 2024).

Las asociaciones de menor magnitud entre transformación digital turística y participación comunitaria, por una parte, y entre valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria, por otra, muestran que estas dimensiones no presentan el mismo grado de correspondencia en la muestra. La disponibilidad de herramientas digitales y la valoración del patrimonio no implican, por sí solas, que los actores locales intervengan de manera efectiva en la planificación, la toma de decisiones o la gestión turística. La participación comunitaria también puede depender de las formas de organización social, los mecanismos de representación, la confianza entre actores, las oportunidades de colaboración y las condiciones institucionales. Estos factores constituyen explicaciones posibles, pero no fueron medidos directamente en esta investigación.

Esta distinción es relevante desde el punto de vista conceptual. La participación comunitaria no se limita a las percepciones individuales sobre la importancia de involucrar a la población local, sino que comprende prácticas colectivas, organización, colaboración y capacidad de intervención en los procesos que afectan al territorio. En consecuencia, los resultados del estudio deben entenderse como asociaciones entre percepciones declaradas por los participantes, y no como una medición directa de estructuras de gobernanza, niveles efectivos de participación o resultados de decisiones comunitarias. Esta delimitación evita atribuir al instrumento un alcance que no corresponde a las variables operacionalizadas.

En el ámbito de la gestión turística, la transformación digital puede facilitar la circulación de información, la promoción de recursos culturales y la comunicación entre los actores vinculados con el destino. Sin embargo, sus aportes dependen de cómo se integra en las prácticas de gestión y de las condiciones de acceso, las competencias digitales y la capacidad organizacional de quienes la utilizan. La digitalización, por tanto, debe analizarse como un recurso que puede apoyar los procesos turísticos, y no como una garantía automática de innovación, sostenibilidad o participación. Esta interpretación permite situar los resultados en el debate sobre transformación digital y turismo sin asumir que la incorporación tecnológica genera por sí misma cambios organizacionales o sociales (Carrión Mena, 2023; Rivera-Mateos & Santana-Moncayo, 2024).

La contribución del estudio reside en analizar conjuntamente las tres dimensiones en el contexto turístico de Guayaquil y mostrar que sus asociaciones presentan magnitudes diferentes.

Este enfoque permite distinguir entre la relación observada entre digitalización y valorización patrimonial y las asociaciones más reducidas que involucran la participación comunitaria. Aunque los resultados no pueden generalizarse estadísticamente a toda la población turística de la ciudad, aportan evidencia contextual que puede orientar nuevas investigaciones y la formulación de preguntas más específicas sobre las condiciones que favorecen la articulación entre tecnología, patrimonio y comunidad. De este modo, el aporte no consiste en demostrar efectos causales, sino en caracterizar las relaciones observadas en una muestra de actores vinculados con la actividad turística.

Desde una perspectiva aplicada, los hallazgos permiten plantear recomendaciones para la gestión turística, siempre que se entiendan como propuestas y no como efectos demostrados por el análisis. Entre ellas se encuentran promover contenidos digitales que contribuyan a la difusión responsable del patrimonio, fortalecer las competencias digitales de los actores locales y establecer mecanismos de participación que faciliten la intervención comunitaria en la planificación y gestión de iniciativas turísticas. La implementación de estas acciones requeriría considerar las características del territorio, las necesidades de los actores y los recursos institucionales disponibles. Además, su efectividad tendría que evaluarse mediante investigaciones específicas que midan resultados posteriores a su aplicación.

Los resultados deben interpretarse considerando varias limitaciones. En primer lugar, el muestreo no probabilístico por conveniencia limita la representatividad estadística y puede introducir sesgos de selección. En segundo lugar, las variables se midieron mediante autopercepción, por lo que las respuestas pueden estar influidas por la deseabilidad social o por diferencias en la interpretación de los ítems.

En tercer lugar, el diseño transversal permite analizar asociaciones en un momento determinado, pero no establecer relaciones causales ni identificar la evolución de las variables en el tiempo. Asimismo, el estudio se basó en un cuestionario y no incorporó técnicas cualitativas que permitieran profundizar en las experiencias, motivaciones y formas de participación de los actores. Tampoco se analizaron directamente factores como el nivel educativo, el acceso a tecnologías y las características organizacionales, que podrían contribuir a explicar las relaciones observadas.

Futuras investigaciones podrían ampliar la diversidad de participantes, incorporar muestras probabilísticas cuando las condiciones lo permitan y combinar cuestionarios con entrevistas o grupos focales. También sería pertinente examinar variables contextuales relacionadas con competencias digitales, acceso tecnológico, organización comunitaria y gobernanza turística. Los diseños longitudinales permitirían analizar cambios en las percepciones a lo largo del tiempo, mientras que los estudios comparativos entre destinos contribuirían a identificar semejanzas y diferencias asociadas con sus condiciones institucionales y territoriales. Estas líneas ayudarían a precisar bajo qué circunstancias la transformación digital se articula con la valorización del patrimonio y la participación comunitaria.

## 5. Conclusiones

La investigación permitió analizar las asociaciones entre transformación digital turística, valorización del patrimonio cultural y participación comunitaria en el contexto turístico de Guayaquil. Los resultados descriptivos mostraron que la participación comunitaria obtuvo la media más alta, seguida de la transformación digital turística y la valorización del patrimonio cultural. En el análisis correlacional, la asociación de mayor magnitud se observó entre transformación digital turística y valorización del patrimonio cultural, mientras que las relaciones que involucraron la participación comunitaria presentaron coeficientes menores. La interpretación definitiva de estas asociaciones debe considerar sus niveles de significancia estadística.

Los hallazgos sugieren que la incorporación de herramientas digitales y la valorización del patrimonio constituyen dimensiones relacionadas en las percepciones de los participantes; sin embargo, esta asociación no demuestra que la digitalización produzca directamente una mayor valoración patrimonial. Del mismo modo, las asociaciones observadas no permiten afirmar que el uso de tecnologías o la valoración del patrimonio garanticen una participación comunitaria efectiva. Esta última requiere considerar factores sociales, organizacionales e institucionales que no fueron evaluados directamente en el estudio.

La contribución de la investigación consiste en examinar conjuntamente estas tres dimensiones en una muestra de actores vinculados con la actividad turística de Guayaquil, identificando diferencias en la magnitud de sus asociaciones. Desde una perspectiva aplicada, los resultados permiten plantear la conveniencia de integrar las herramientas digitales con estrategias de difusión responsable del patrimonio y mecanismos de participación de los actores locales. Estas orientaciones constituyen propuestas para la gestión turística y no efectos cuya eficacia haya sido comprobada por esta investigación.

Las conclusiones deben interpretarse considerando el muestreo no probabilístico por conveniencia, la medición basada en autopercepciones y el diseño transversal y correlacional, que impide establecer causalidad y limita la generalización de los resultados. Además, el uso exclusivo de un cuestionario no permitió profundizar en las experiencias de los participantes ni medir directamente las estructuras de gobernanza y organización comunitaria. Futuras investigaciones podrían ampliar la diversidad de participantes, incorporar métodos cualitativos y examinar variables como las competencias digitales, el acceso a tecnologías y las condiciones institucionales. También sería pertinente realizar estudios longitudinales y comparativos que permitan comprender mejor cómo se articulan la transformación digital, la valorización patrimonial y la participación comunitaria en diferentes contextos turísticos.

## Referencias bibliográficas

Astuti, D., Kisworo, B., Shogbesan, Y. O., & Herwina, W. (2024). The effect of local community empowerment on digital transformation in cultural and tourism preservation. *JPPM (Jurnal Pendidikan dan Pemberdayaan Masyarakat), 11*(1). https://doi.org/10.21831/jppm.v11i1.72325

Baggio, R. (2024). Getting the methods right. En C. Cooper & C. M. Hall (Eds.), *How to get published in the best tourism journals* (pp. 79–90). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781035300600.00012

Barzola Andrade, K. (2024). Los bienes patrimoniales de las parroquias urbanas de Guayaquil, una mirada desde la percepción de los visitantes. *Revista Internacional de Gestión, Innovación y Sostenibilidad Turística, 4*(2), 15–29. https://doi.org/10.51260/rigistur.v4i2.490

Carrión Mena, F. (2023, septiembre). *Qué ha pasado en estos 45 años de Patrimonio de la Humanidad* [Conferencia, archivo de video]. FLACSO Ecuador. http://hdl.handle.net/10469/21599

Lapuz, M. C. M. (2023). The role of local community empowerment in the digital transformation of rural tourism development in the Philippines. *Technology in Society, 74*, 102308. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102308

Li, Y., Jiao, L., & Zhou, M. (2024). How does cultural heritage destination digitalization influence tourists' attitudes? The role of constructive authenticity and technology-destination fit. *Journal of Travel & Tourism Marketing, 41*(2), 221–234. https://doi.org/10.1080/10548408.2024.2311328

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2022). *Agenda de transformación digital del Ecuador 2022–2025*. Gobierno del Ecuador. https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Agenda-transformacion-digital-2022-2025.pdf

Rivera-Mateos, M., & Santana-Moncayo, C. (2024). Ciudades, patrimonio arquitectónico y turismo: Un análisis perceptual desde la perspectiva de los residentes en Guayaquil (Ecuador). *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 16*, e20230306. https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20230306

Ruiz Murillo, J. R., Chiriboga Cisneros, F., Ortiz Zambrano, R., & Mora, F. M. (2025). El rol del storytelling en la conservación del patrimonio cultural: El caso de Santa Lucía, Guayas. *Turismo y Patrimonio, 24*, 121–144. https://doi.org/10.24265/turpatrim.2025.n24.07

UNESCO. (2024, 17 de junio). *En México, inicia capacitación de la UNESCO para gestión de visitantes y participación comunitaria en turismo y patrimonio para América Latina y el Caribe*. https://www.unesco.org/es/articles/en-mexico-inicia-capacitacion-de-la-unesco-para-gestion-de-visitantes-y-participacion-comunitaria-en

Vargas-Sánchez, A. (2022). Towards a tourism industry turnaround: The need for a new metric of social success. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes, 14*(1), 38–47. https://doi.org/10.1108/WHATT-10-2021-0135

# Parte IV.

*Gestión organizacional, empresa y sostenibilidad.*

CAPÍTULO 11

# Sostenibilidad empresarial y capital de marca: análisis de prácticas en restaurantes de Portoviejo

*Business sustainability and brand equity: an analysis of practices in restaurants in Portoviejo*

1 **Miguel Francisco Alcívar Vélez**
*Magíster en Administración de Empresas, mención en Gerencia de la Calidad y Productividad*
Investigador independiente, Ecuador
mifraalve@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-3225-6118

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_11 RECIBIDO 18/08/2026 | ACEPTADO 30/09/2026

## RESUMEN

La incorporación de prácticas orientadas a la sostenibilidad en el sector de la restauración plantea interrogantes sobre su relación con la construcción de valor empresarial y, particularmente, con el capital de marca. El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre las prácticas orientadas a la sostenibilidad empresarial y el capital de marca en restaurantes de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, a partir de la evaluación de las prácticas verdes implementadas y su asociación con las dimensiones que conforman el valor de marca. Se desarrolló una investigación cuantitativa, no experimental, transversal, con alcance descriptivo y correlacional. La muestra estuvo conformada por 100 restaurantes seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. La información se obtuvo mediante una encuesta estructurada de 36 ítems, organizada en dimensiones correspondientes a prácticas verdes y capital de marca. La consistencia interna del instrumento fue evaluada mediante alfa de Cronbach, con valores de 0,744 y 0,771, respectivamente. Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva y el coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados evidenciaron una implementación heterogénea de las prácticas verdes y una limitada incorporación de determinadas acciones ambientales. De las 54 asociaciones examinadas, nueve fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$): siete presentaron signo negativo y dos, signo positivo. Las asociaciones positivas correspondieron a la oferta de platos saludables con la consideración del restaurante como recomendable ($r = 0,277$) y a la existencia de puntos de recogida de materiales reciclables con la percepción de limpieza del entorno ($r = 0,336$). Se concluye que las prácticas sostenibles y el capital de marca no presentan una relación positiva generalizada en los establecimientos estudiados. Los hallazgos sugieren que la implementación de acciones sostenibles no garantiza por sí misma su correspondencia con una valoración favorable de los componentes del capital de marca.

**Palabras clave:** sostenibilidad empresarial, prácticas verdes, capital de marca, restaurantes, gestión ambiental, Portoviejo

**ABSTRACT**

The adoption of sustainability-oriented practices in the restaurant sector raises questions about their relationship with business value creation, particularly brand equity. This study aimed to analyze the relationship between sustainability-oriented business practices and brand equity in restaurants in Portoviejo, Ecuador, by examining the green practices implemented and their association with different dimensions of brand equity. A quantitative, non-experimental, cross-sectional study with a descriptive and correlational scope was conducted. The sample consisted of 100 restaurants selected through non-probability convenience sampling. Data were collected using a structured 36-item questionnaire covering dimensions related to green practices and brand equity. The internal consistency of the instrument was assessed using Cronbach's alpha, with values of 0.744 and 0.771, respectively. Data were analyzed using descriptive statistics and Pearson's correlation coefficient. The results showed that green practices were implemented unevenly across the restaurants, with limited adoption of some environmental actions. Of the 54 associations examined, nine were statistically significant ($p < 0.05$): seven were negative and two were positive. The positive associations were found between offering healthy dishes and customers' willingness to recommend the restaurant ($r = 0.277$), and between having collection points for recyclable materials and the perceived cleanliness of the restaurant's surroundings ($r = 0.336$). The findings indicate that sustainable practices and brand equity were not consistently positively related across the restaurants studied. Implementing sustainable actions alone does not necessarily correspond to a more favorable assessment of brand equity dimensions.

**Keywords:** business sustainability, green practices, brand equity, restaurants, environmental management, Portoviejo

## 1. Introducción

La sostenibilidad ha adquirido una presencia creciente en la gestión empresarial debido a las presiones ambientales asociadas con los modelos de producción y consumo, pero también por los cambios en las expectativas de consumidores y otros grupos de interés. En el sector de la restauración, esta discusión adquiere características particulares, pues la prestación del servicio involucra consumo de energía y agua, adquisición y procesamiento de alimentos, generación de residuos y desperdicio alimentario. Por ello, las prácticas orientadas a reducir estos impactos han dejado de analizarse exclusivamente desde una perspectiva ambiental y han comenzado a vincularse con variables empresariales como la reputación, el comportamiento del consumidor y el valor asociado a la marca.

El capital de marca constituye uno de los principales activos intangibles de las organizaciones, al reflejar el valor que los consumidores atribuyen a una marca a partir de sus experiencias, percepciones y asociaciones, entre sus dimensiones más estudiadas se encuentran la conciencia de marca, la lealtad, la calidad percibida y la imagen de marca, elementos que influyen en la diferenciación competitiva y en las decisiones de consumo, en el sector de la restauración, comprender cómo las prácticas empresariales se relacionan con estas dimensiones resulta relevante para evaluar su posible contribución al fortalecimiento de la marca.

En el ámbito internacional, la relación entre las prácticas verdes y la construcción de marca ha generado resultados que requieren una lectura menos lineal. Namkung y Jang (2013), en un estudio

realizado con 512 consumidores de restaurantes en Estados Unidos, encontraron que las prácticas ambientales relacionadas con los alimentos y con la operación del establecimiento incidían en la imagen verde y en las intenciones de comportamiento, aunque su efecto sobre la calidad percibida no resultó significativo.

Estudios posteriores también han encontrado asociaciones entre prácticas sostenibles, valor percibido, intención de retorno y capital de marca verde, aunque los resultados dependen de la percepción que los consumidores tienen de dichas prácticas (Riva et al., 2022; Khan et al., 2022).

En Ecuador, la relación entre sostenibilidad y capital de marca en el sector de la restauración ha comenzado a contar con evidencia empírica propia. Montesdeoca-Calderón et al. (2020), mediante un estudio cuantitativo realizado con administradores de restaurantes ecuatorianos, determinaron que las prácticas verdes vinculadas con la formación de los empleados y la innovación sostenible contribuyen a reducir el desperdicio alimentario y que este, junto con las acciones destinadas a generar conciencia en los consumidores, se relaciona positivamente con el capital de marca. Estos resultados permiten entender que la sostenibilidad empresarial en los restaurantes no depende de una práctica aislada, sino de la articulación entre decisiones operativas, formación, manejo de recursos y capacidad para trasladar esas acciones hacia la percepción del mercado.

La evidencia más reciente aporta un resultado que complejiza la relación entre sostenibilidad y capital de marca en el contexto ecuatoriano. Montesdeoca-Calderón et al. (2024) analizaron 300 restaurantes ubicados en Guayaquil, Manta y Portoviejo y distinguieron grupos de establecimientos según la formación de los empleados en prácticas sostenibles, el desperdicio de alimentos y la innovación de servicios orientada a la sostenibilidad. Los restaurantes con mayor capacitación, menor desperdicio alimentario y mayor innovación sostenible presentaron un capital de marca inferior al observado en establecimientos con menor desempeño en estas prácticas.

Este resultado cuestiona una relación directa entre sostenibilidad y generación de valor de marca y adquiere particular interés para el contexto de Manabí, al incluir restaurantes de Manta y Portoviejo. La evidencia sugiere que un mejor desempeño en determinadas prácticas sostenibles no necesariamente se traduce en una mayor valoración de la marca, lo que plantea la necesidad de examinar cómo estas acciones son reconocidas y valoradas en cada contexto.

Para Portoviejo, esta problemática puede observarse con mayor detalle a partir de los datos que sustentan el presente capítulo. La investigación realizada en restaurantes de la ciudad identificó una aplicación heterogénea de las prácticas verdes. Mientras algunas actividades vinculadas con la operación cotidiana presentaban una incorporación favorable, otras prácticas directamente asociadas con la gestión ambiental mostraban una presencia reducida. Entre los establecimientos estudiados, el 84 % indicó que no adquiría productos orgánicos y el 59 % señaló que no reciclaba residuos orgánicos para la elaboración de compost. Estas diferencias evidencian que la sostenibilidad no se encontraba incorporada de manera uniforme en la gestión de los restaurantes analizados.

La particularidad del caso de Portoviejo aparece al relacionar estas prácticas con el capital de marca, el estudio evaluó dimensiones vinculadas con compras y suministro alimentario, ambiente y equipos verdes, formación de clientes y empleados, planificación del menú y cocina, limpieza y responsabilidad social corporativa, contrastándolas con componentes del capital de marca. Los resultados mostraron relaciones de distinta intensidad e incluso asociaciones inversas entre determinados componentes. Este comportamiento adquiere especial interés frente a la evidencia posterior obtenida en Manta y Portoviejo por Montesdeoca-Calderón et al. (2024), pues ambos estudios permiten cuestionar la idea de que una mayor incorporación de prácticas sostenibles conduce necesariamente a un mayor capital de marca.

Aunque investigaciones previas desarrolladas en Ecuador han analizado la relación entre sostenibilidad y capital de marca en restaurantes, la evidencia disponible continúa siendo limitada respecto al comportamiento específico de las dimensiones que integran ambas variables. El presente estudio aporta evidencia empírica para la ciudad de Portoviejo mediante el análisis de asociaciones directas entre prácticas verdes y componentes del capital de marca. Su contribución radica en identificar relaciones tanto positivas como negativas entre estas dimensiones, resultado que permite cuestionar la existencia de una relación uniforme entre sostenibilidad empresarial y capital de marca en el sector gastronómico.

A partir de este contexto, el objetivo del estudio fue analizar la relación entre las prácticas orientadas a la sostenibilidad empresarial y el capital de marca en restaurantes de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, mediante la evaluación de las prácticas verdes implementadas y su asociación con las dimensiones que conforman el capital de marca (véase la Figura 1).

**Figura 1**

*Modelo conceptual del estudio*




*Nota.* Elaboración propia.

## 2. Métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y de corte transversal, orientado al análisis de las prácticas verdes implementadas por los restaurantes y su relación con el capital de marca. El estudio tuvo un alcance descriptivo y correlacional: en una primera etapa se caracterizó el comportamiento de las variables y sus respectivas dimensiones y, posteriormente, se examinó la relación existente entre ellas. El trabajo de campo se realizó en restaurantes de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador.

Las relaciones analizadas fueron definidas a partir de la literatura sobre sostenibilidad empresarial y capital de marca en restaurantes, por ello, se consideró que las prácticas de compras y suministro alimentario pueden asociarse con el capital de marca, el ambiente y los equipos verdes con la conciencia de marca, la formación de clientes y empleados con la lealtad de marca, la planificación del menú y cocina con la calidad percibida, la limpieza y postratamiento ecológico con la imagen de marca; y la responsabilidad social corporativa con la imagen de marca verde.

La población de referencia estuvo conformada por establecimientos de restauración registrados en la base de datos del Municipio de Portoviejo. Para el estudio se seleccionaron 100 restaurantes que prestaban servicio gourmet, mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia a unidad informante estuvo constituida por propietarios, encargados, gerentes u otros responsables de los establecimientos seleccionados, a quienes se aplicó el instrumento de recolección de información.

La construcción del instrumento partió de una revisión bibliográfica dirigida a identificar los indicadores asociados con las dos variables centrales del estudio: prácticas verdes y capital de marca. A partir de esta revisión se establecieron seis dimensiones para cada variable. En prácticas verdes se consideraron compras y suministro alimentario; ambiente y equipos verdes; formación de clientes y empleados; planificación del menú y cocina; limpieza y postratamiento ecológico; y beneficios asociados con la responsabilidad social corporativa. Para el capital de marca se contemplaron capital de marca, conciencia de marca, lealtad de marca, calidad percibida, imagen de marca e imagen de marca verde.

Previamente a su aplicación, el instrumento fue sometido a revisión de contenido mediante el análisis de la literatura especializada utilizada para la definición de indicadores y dimensiones. Posteriormente, se evaluó su consistencia interna mediante el coeficiente alfa de Cronbach para cada una de las variables estudiadas.

La información se recolectó mediante una encuesta estructurada *ad hoc*. El cuestionario estuvo integrado por 36 preguntas, distribuidas en tres ítems por cada indicador de las variables estudiadas. Las respuestas se organizaron mediante una escala tipo Likert de cinco categorías: 1 = siempre, 2 = la mayoría de las veces, 3 = algunas veces, 4 = pocas veces y 5 = nunca. El instrumento fue aplicado directamente a los responsables de los restaurantes seleccionados.

La consistencia interna del instrumento se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach. Para la variable prácticas verdes, integrada por 18 ítems, se obtuvo un coeficiente de 0,744, mientras que, para capital de marca, también conformada por 18 ítems, el valor alcanzó 0,771. Ambos

resultados fueron considerados aceptables para el análisis de la información. Los 100 cuestionarios aplicados fueron incorporados al procesamiento estadístico, sin registros excluidos.

El procesamiento de los datos se realizó mediante el programa SPSS. Se empleó estadística descriptiva para examinar el comportamiento de los indicadores y dimensiones de prácticas verdes y capital de marca. Posteriormente, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la dirección e intensidad de las relaciones entre las variables analizadas. El análisis correlacional comprendió las correspondencias entre compras y suministro alimentario y capital de marca; ambiente y equipos verdes y conciencia de marca; formación de clientes y empleados y lealtad de marca; planificación del menú y cocina y calidad percibida; limpieza y postratamiento ecológico e imagen de marca; y responsabilidad social corporativa e imagen de marca verde.

Aunque los datos procedían de escalas tipo Likert, las puntuaciones fueron analizadas de forma agregada por dimensiones, considerando el tamaño de la muestra (n = 100) y el comportamiento aproximado de las distribuciones observadas, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para examinar la dirección e intensidad de las asociaciones entre las variables analizadas.

Para la interpretación de los coeficientes de correlación se consideraron asociaciones débiles cuando $|r| < 0{,}30$, moderadas cuando $|r|$ osciló entre 0,30 y 0,59, y fuertes cuando $|r| \geq 0{,}60$.

## 3. Resultados

Los establecimientos analizados presentaron características relativamente homogéneas en cuanto a categoría y nivel de precios. De los 100 restaurantes incluidos en el estudio, el 85 % correspondió a establecimientos de tres tenedores y el 15 % a dos tenedores. En relación con el precio promedio de los platos, el 55 % se ubicó entre $6,00 y $10,00, el 37 % por debajo de $5,00 y el 8 % entre $11,00 y $15,00. Respecto al tipo de menú, el 53 % ofrecía la posibilidad de seleccionar entre una ración pequeña o normal, mientras que el 47 % disponía de una única ración en su oferta a la carta. La información fue proporcionada principalmente por encargados de los establecimientos (65 %) y propietarios (26 %).

La evaluación de las prácticas verdes mostró una aplicación heterogénea entre los restaurantes. Algunas actuaciones vinculadas con la operación habitual de los establecimientos presentaron una mayor incorporación, mientras que otras relacionadas directamente con criterios ambientales tuvieron una presencia reducida. Entre estas últimas, el 84 % de los establecimientos señaló que no adquiría productos orgánicos y el 59 % manifestó que no reciclaba los residuos orgánicos para elaborar compost. Estos resultados muestran que las prácticas asociadas con la sostenibilidad no se encontraban incorporadas de manera uniforme en la gestión de los restaurantes.

Para determinar la relación entre las prácticas verdes y el capital de marca se analizaron seis dimensiones: compras y suministro alimentario frente a capital de marca; ambiente y equipos verdes frente a conciencia de marca; formación de clientes y empleados frente a lealtad de marca; planificación del menú y cocina frente a calidad percibida; limpieza y postratamiento ecológico frente a imagen de marca; y responsabilidad social corporativa frente a imagen de marca verde.

El análisis mediante el coeficiente de correlación de Pearson mostró que la mayoría de las asociaciones examinadas fueron débiles y estadísticamente no significativas. Sin embargo, se identificaron relaciones significativas en dimensiones específicas, tanto de signo positivo como negativo.

**Tabla 1**

*Asociaciones estadísticamente significativas entre prácticas verdes y dimensiones del capital de marca*

| Prácticas verdes | Indicadores de capital de marca | r | p | Magnitud |
|---|---|---|---|---|
| Instalación de interceptor de grasas o sistemas para evitar contaminación | El restaurante cuenta con un *posservicio* | −0,263 | 0,008 | Débil |
| Instalación de interceptor de grasas o sistemas para evitar contaminación | El restaurante genera un ambiente agradable para sus clientes | −0,371 | <0,001 | Moderada |
| Equipamiento de eficiencia energética | El restaurante cuenta con un *posservicio* | −0,206 | 0,040 | Débil |
| Equipamiento de eficiencia energética | El restaurante genera un ambiente agradable para sus clientes | −0,222 | 0,027 | Débil |
| Oferta de platos de cocina saludable | El restaurante es considerado recomendable | 0,277 | 0,005 | Débil |
| Punto de recogida de materiales para reciclaje | El restaurante mantiene limpio su entorno | 0,336 | <0,001 | Moderada |
| Gestión de grasas, aceites y otros residuos mediante una empresa especializada | Ubicación estratégica para atraer clientes | −0,427 | <0,001 | Moderada |
| Integración de contribuciones benéficas en las actividades empresariales | Reputación ambiental destacada | −0,280 | <0,001 | Débil |
| Reinversión de beneficios en la comunidad | Reputación ambiental destacada | −0,211 | 0,035 | Débil |

*Nota.* Se consideraron correlaciones débiles cuando $|r| < 0,30$, moderadas cuando $|r|$ osciló entre 0,30 y 0,59 y fuertes cuando $|r| \geq 0,60$. r = coeficiente de correlación de Pearson; p = significancia bilateral; N = 100. Elaboración propia.

Con fines de síntesis y claridad expositiva, la Tabla 1 presenta únicamente las asociaciones que alcanzaron significancia estadística ($p < 0,05$). Las restantes correlaciones fueron analizadas e interpretadas en el texto correspondiente.

En la dimensión de compras y suministro alimentario, ninguna de las nueve relaciones examinadas con los indicadores de capital de marca alcanzó significancia estadística ($p > 0,05$).

Los coeficientes oscilaron entre $r = -0{,}059$ y $r = 0{,}142$, lo que evidencia asociaciones de baja intensidad. De manera similar, la formación ambiental de clientes y empleados no presentó relaciones estadísticamente significativas con la lealtad de marca; los coeficientes fueron negativos y débiles, con valores comprendidos entre $r = -0{,}040$ y $r = -0{,}170$.

En ambiente y equipos verdes se identificaron cuatro asociaciones significativas y de signo negativo. La instalación de interceptores de grasa o sistemas destinados a evitar la contaminación se relacionó inversamente con la disponibilidad de *posservicio* ($r = -0{,}263$; $p = 0{,}008$) y con la generación de un ambiente agradable para los clientes ($r = -0{,}371$; $p < 0{,}001$). El uso de equipos con eficiencia energética presentó igualmente asociaciones negativas con el *posservicio* ($r = -0{,}206$; $p = 0{,}040$) y con el ambiente agradable percibido en el establecimiento ($r = -0{,}222$; $p = 0{,}027$).

En la dimensión de planificación del menú y cocina, únicamente se encontró una asociación estadísticamente significativa. La oferta de platos de cocina saludable presentó una relación positiva con la consideración del restaurante como establecimiento recomendable ($r = 0{,}277$; $p = 0{,}005$). Las restantes asociaciones entre las prácticas de planificación y cocina y los indicadores de calidad percibida fueron débiles y no alcanzaron significancia estadística.

En las prácticas de limpieza y postratamiento ecológico se observaron dos relaciones significativas. La existencia de un punto de recogida de materiales para reciclaje presentó una asociación positiva con la percepción de limpieza del entorno del restaurante ($r = 0{,}336$; $p < 0{,}001$). En contraste, la recogida y gestión de grasas, aceites y otros residuos mediante una empresa especializada se relacionó negativamente con la percepción de que el establecimiento se encontraba en una ubicación estratégica para atraer clientes ($r = -0{,}427$; $p < 0{,}001$), siendo esta la asociación de mayor magnitud encontrada en los seis bloques analizados.

Finalmente, dentro de la responsabilidad social corporativa, la integración de contribuciones benéficas en las actividades empresariales presentó una relación negativa con la reputación ambiental destacada ($r = -0{,}280$; $p < 0{,}001$). De manera similar, la reinversión de parte de los beneficios en la comunidad mostró una asociación negativa y débil con ese mismo indicador de reputación ambiental ($r = -0{,}211$; $p = 0{,}035$). Las demás relaciones de esta dimensión no fueron estadísticamente significativas.

En conjunto, los resultados no muestran una relación positiva generalizada entre la implementación de prácticas verdes y las dimensiones del capital de marca. De las 54 asociaciones examinadas, nueve alcanzaron significancia estadística al nivel de $p < 0{,}05$; siete fueron negativas y dos positivas. Las asociaciones positivas se concentraron en la oferta de platos saludables y la existencia de mecanismos de recogida de materiales para reciclaje, mientras que varias prácticas vinculadas con equipamiento ambiental, gestión de residuos y responsabilidad social presentaron relaciones inversas con determinados indicadores de marca. Estos resultados muestran que, en los restaurantes estudiados, la incorporación de prácticas orientadas a la sostenibilidad empresarial no estuvo acompañada de manera uniforme por una valoración más favorable de los componentes del capital de marca.

## 4. Discusión

Los resultados muestran que la relación entre las prácticas orientadas a la sostenibilidad y el capital de marca en los restaurantes de Portoviejo no sigue un comportamiento uniforme. De las 54 asociaciones examinadas, únicamente nueve alcanzaron significancia estadística con un nivel de $p < 0,05$; siete presentaron signo negativo y dos signos positivos. Este comportamiento impide sostener que una mayor incorporación de prácticas verdes se traduzca, por sí misma, en un mayor capital de marca.

Más bien, los hallazgos sugieren que el vínculo depende del tipo de práctica implementada y del componente de marca con el que se relaciona. Esta interpretación resulta consistente con Namkung y Jang (2013), quienes encontraron que las prácticas verdes pueden favorecer determinados componentes de la marca y las intenciones conductuales, pero sus efectos varían según el tipo de práctica y de restaurante, y no fueron significativos para la calidad percibida.

Uno de los resultados que merece mayor atención corresponde a compras y suministro alimentario, dimensión en la que ninguna de las nueve correlaciones resultó estadísticamente significativa. Esto indica que prácticas como adquirir productos locales, verificar la caducidad de los alimentos o incorporar productos orgánicos no estuvieron asociadas, en la muestra estudiada, con los indicadores utilizados para medir el capital de marca.

El resultado difiere parcialmente de la evidencia internacional, donde las prácticas sostenibles vinculadas con los alimentos han mostrado efectos favorables sobre la imagen verde y las intenciones de comportamiento de los consumidores (Namkung & Jang, 2013). Sin embargo, esta diferencia debe interpretarse considerando que el presente estudio recogió información de responsables de los restaurantes y no directamente de sus consumidores. Por tanto, los resultados representan la perspectiva interna de los establecimientos sobre sus prácticas y atributos de marca, aspecto que limita cualquier inferencia directa acerca de cómo los clientes reconocen o valoran estas actuaciones.

Las prácticas relacionadas con ambiente y equipos verdes presentaron cuatro asociaciones significativas, todas negativas. La instalación de sistemas para controlar grasas y evitar contaminación se relacionó inversamente con el posservicio ($r = -0,263$; $p = 0,008$) y con la generación de un ambiente agradable ($r = -0,371$; $p < 0,001$); el uso de equipos energéticamente eficientes mostró un comportamiento similar. Estas asociaciones no deben interpretarse como evidencia de que las prácticas ambientales deterioren la conciencia de marca.

Debido al carácter transversal y correlacional del estudio, los resultados únicamente muestran que ambas características variaron en direcciones opuestas dentro de la muestra. Una posible explicación, que requeriría investigación adicional, es que varias de estas actuaciones corresponden a procesos internos del restaurante y pueden tener poca visibilidad para el cliente. Esta posibilidad encuentra respaldo conceptual en Namkung y Jang (2013), quienes advierten que numerosas actividades ambientales de los restaurantes ocurren fuera del espacio directamente observable por el consumidor.

Las asociaciones negativas observadas constituyen uno de los hallazgos más relevantes del estudio, debido a que contrastan con la expectativa de que una mayor sostenibilidad se traduzca automáticamente en beneficios para la marca. Es decir, varias de las prácticas evaluadas corresponden a procesos operativos internos cuya implementación no resulta fácilmente visible para los consumidores en estas circunstancias, los beneficios ambientales pueden existir sin que necesariamente se transformen en atributos reconocidos o valorados dentro del capital de marca. Asimismo, es posible que determinadas inversiones en sostenibilidad sean percibidas por los responsables del establecimiento como esfuerzos de gestión, pero no como elementos diferenciadores desde la perspectiva del mercado.

Estas asociaciones deben interpretarse exclusivamente en términos correlacionales, el diseño transversal y no experimental utilizado no permite establecer relaciones de causa y efecto entre las prácticas sostenibles y los componentes del capital de marca, sino únicamente identificar patrones de asociación presentes en la muestra analizada.

Un comportamiento diferente apareció en planificación del menú y cocina. La oferta de platos saludables se relacionó positivamente con la consideración del restaurante como recomendable ($r = 0,277$; $p = 0,005$), mientras las demás asociaciones de esta dimensión no fueron significativas. El hallazgo sugiere que las prácticas sostenibles vinculadas directamente con la experiencia de consumo podrían tener mayor capacidad de relacionarse con atributos favorables de marca que aquellas desarrolladas exclusivamente en procesos internos.

No obstante, la magnitud de la correlación es baja y no permite generalizar esta explicación. Estudios recientes realizados desde la perspectiva del consumidor muestran que las prácticas sostenibles pueden mejorar el valor percibido y generar respuestas emocionales favorables que posteriormente se relacionan con las intenciones hacia el restaurante, destacando además la necesidad de comunicar adecuadamente las actuaciones sostenibles (Jun & Yoon, 2024).

La evidencia internacional reciente tiende a mostrar asociaciones favorables entre sostenibilidad, valor percibido e intención de comportamiento del consumidor, no obstante, los resultados obtenidos en Portoviejo sugieren que estas relaciones pueden variar según las características del contexto empresarial y el nivel de reconocimiento que los consumidores otorgan a las prácticas sostenibles implementadas por los establecimientos.

La gestión de residuos presentó resultados igualmente diferenciados. La existencia de un punto para la recogida de materiales reciclables estuvo positivamente asociada con la percepción de limpieza del entorno ($r = 0,336$; $p < 0,001$). En cambio, la gestión especializada de grasas, aceites y otros residuos mostró una relación negativa con la percepción de ubicación estratégica ($r = −0,427$; $p < 0,001$), que constituyó la asociación de mayor magnitud observada.

Esta última relación requiere especial cautela: ubicación y tratamiento de residuos corresponden a aspectos conceptualmente distintos, por lo que la correlación estadística no demuestra que uno explique al otro. En cambio, la asociación entre mecanismos de reciclaje y limpieza presenta mayor proximidad conceptual y puede interpretarse como evidencia de que

determinadas actuaciones ambientales visibles conviven con atributos favorables asociados con la imagen del establecimiento.

Los resultados de responsabilidad social corporativa también contradicen una interpretación automática de la sostenibilidad como generadora de capital de marca. Las contribuciones benéficas se relacionaron negativamente con la reputación ambiental ($r = -0{,}280$; $p < 0{,}001$), al igual que la reinversión de beneficios en la comunidad ($r = -0{,}211$; $p = 0{,}035$). Estas relaciones no significan que la responsabilidad social perjudique la reputación ambiental; muestran, más bien, que la realización de acciones sociales no estuvo acompañada de una valoración ambiental equivalente en los establecimientos estudiados. La sostenibilidad social y la reputación ambiental representan componentes diferentes de la actuación empresarial, por lo que la ejecución de acciones comunitarias no necesariamente comunica al mercado un posicionamiento ambiental.

Los resultados coinciden parcialmente con la evidencia ecuatoriana previa. Mientras Montesdeoca-Calderón et al. (2020) identificaron efectos favorables de determinadas prácticas sostenibles sobre el capital de marca, el presente estudio no encontró asociaciones significativas en varias de las dimensiones analizadas. De forma similar, Montesdeoca-Calderón et al. (2024) reportaron que establecimientos con mejores indicadores de sostenibilidad presentaban menores niveles de capital de marca, resultado que respalda la necesidad de analizar con mayor profundidad la forma en que estas prácticas son percibidas y valoradas por el mercado.

Esta coincidencia permite plantear una interpretación más amplia del problema. La incorporación de sostenibilidad a los procesos internos del restaurante puede producir beneficios ambientales sin que estos sean automáticamente reconocidos como atributos diferenciadores de la marca. El estudio ecuatoriano de 2024 muestra que el grupo caracterizado por mayor formación en prácticas sostenibles, menor desperdicio alimentario y mayor innovación sostenible presentó un menor capital de marca, resultado que sus autores relacionan con una limitada valoración de la sostenibilidad por parte del consumidor.

Los resultados del presente capítulo no permiten comprobar directamente esa explicación, debido a que no se encuestó a consumidores; sin embargo, la escasa cantidad de asociaciones positivas encontrada plantea la necesidad de estudiar en Futuras investigaciones podrían incorporar muestras probabilísticas, ampliar el análisis hacia otros territorios, particularmente Manta y otros cantones de Manabí, e integrar directamente la perspectiva de los consumidores para examinar si el conocimiento, la percepción y la valoración de las prácticas sostenibles intervienen en la construcción del capital de marca.

Desde una perspectiva empresarial, los hallazgos sugieren que implementar prácticas verdes y construir capital de marca constituyen procesos relacionados, pero no equivalentes. La instalación de equipos eficientes, el manejo adecuado de residuos, la adquisición responsable de alimentos o las acciones comunitarias pueden responder a objetivos ambientales y sociales aun cuando su asociación inmediata con los atributos de marca sea débil o inexistente. Para los restaurantes de Portoviejo, el desafío no consistiría únicamente en ampliar la incorporación de estas prácticas, sino también en determinar cuáles son reconocibles y relevantes para sus clientes y cómo pueden comunicarse sin reducir la sostenibilidad a una estrategia promocional. La evidencia reciente sobre

comportamiento del consumidor respalda la importancia de integrar las actuaciones sostenibles con la experiencia y la comunicación del restaurante.

Desde lo teórico, los resultados contribuyen a la discusión sobre la relación entre sostenibilidad empresarial y capital de marca al mostrar que dicha relación no necesariamente presenta una dirección uniforme. Es decir, que el efecto potencial de las prácticas sostenibles depende de la naturaleza de la práctica implementada y de la dimensión específica del capital de marca considerada en el análisis.

Los resultados deben interpretarse considerando varias limitaciones. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia y estuvo circunscrito a 100 restaurantes de Portoviejo, por lo que los hallazgos no pueden generalizarse al conjunto del sector gastronómico de Manabí o Ecuador. El diseño transversal permite identificar asociaciones, pero no establecer relaciones causales. Además, las prácticas verdes y los componentes del capital de marca fueron valorados desde la perspectiva de los responsables de los establecimientos; incorporar directamente la percepción de los consumidores permitiría contrastar si las actuaciones sostenibles implementadas son conocidas y valoradas por quienes construyen finalmente parte del significado de la marca. Estas limitaciones abren una línea de investigación centrada en modelos que integren prácticas sostenibles, comunicación ambiental, percepción del consumidor y capital de marca.

Esta situación puede generar sesgo de deseabilidad social, debido a que los participantes podrían sobreestimar el nivel de implementación de determinadas prácticas o la valoración de atributos asociados con la marca. Asimismo, el capital de marca suele evaluarse desde la percepción de los consumidores, por lo que futuras investigaciones deberían incorporar directamente la perspectiva del cliente para contrastar los resultados obtenidos.

## 5. Conclusiones

El análisis realizado permitió establecer que la relación entre las prácticas orientadas a la sostenibilidad empresarial y el capital de marca en los restaurantes estudiados de Portoviejo no presenta un comportamiento uniforme. La mayoría de las asociaciones examinadas fueron débiles y no alcanzaron significancia estadística, por lo que los resultados no respaldan una relación positiva generalizada entre una mayor implementación de prácticas verdes y una mayor valoración de las dimensiones que conforman el capital de marca.

Las prácticas sostenibles mostraron distintos niveles de incorporación en los establecimientos analizados. Algunas acciones relacionadas con la operación cotidiana tuvieron una presencia favorable, mientras otras vinculadas directamente con la gestión ambiental permanecieron poco desarrolladas. Es así como la limitada adquisición de productos orgánicos y el reducido aprovechamiento de residuos orgánicos para la elaboración de compost evidencian que la sostenibilidad todavía no se encontraba incorporada de manera homogénea en los procesos de gestión de los restaurantes.

De las 54 asociaciones analizadas mediante el coeficiente de correlación de Pearson, nueve resultaron estadísticamente significativas al nivel de $p < 0,05$. Siete fueron negativas y dos positivas. Las asociaciones favorables se observaron entre la oferta de platos saludables y la consideración del restaurante como recomendable, así como entre la existencia de puntos de recogida de materiales reciclables y la percepción de limpieza del entorno. Estos resultados muestran que determinadas prácticas sostenibles, particularmente aquellas que pueden vincularse de manera más directa con la experiencia del establecimiento, presentan una relación favorable con componentes específicos de la marca, aunque las correlaciones encontradas fueron de intensidad baja.

Las asociaciones negativas identificadas en ambiente y equipos verdes, gestión de residuos y responsabilidad social corporativa deben interpretarse con cautela. Debido al carácter transversal y no experimental de la investigación, estos resultados no demuestran que la implementación de dichas prácticas produzca una disminución del capital de marca. Evidencian únicamente que determinados indicadores se relacionaron inversamente dentro de la muestra estudiada y confirman que la sostenibilidad empresarial y la construcción del capital de marca no evolucionan necesariamente en la misma dirección.

Los hallazgos sugieren que la adopción de prácticas sostenibles constituye por sí misma una actuación ambiental y empresarial relevante, pero su implementación no garantiza que los atributos asociados con ellas se reflejen automáticamente en el capital de marca. Para los restaurantes de Portoviejo, esto plantea la necesidad de avanzar tanto en la incorporación sistemática de prácticas sostenibles como en la comprensión de la forma en que estas son percibidas y valoradas por sus clientes, especialmente cuando se pretende que la sostenibilidad forme parte de la diferenciación del establecimiento.

A nivel gerencial, los resultados sugieren que la implementación de prácticas sostenibles no debe considerarse únicamente como una estrategia para fortalecer el capital de marca, los administradores de restaurantes deberían complementar estas acciones con mecanismos de comunicación que permitan a los consumidores reconocer y valorar los esfuerzos ambientales y sociales desarrollados por el establecimiento.

El principal aporte del estudio consiste en evidenciar que la relación entre sostenibilidad empresarial y capital de marca no presenta un comportamiento uniforme en los restaurantes analizados, lo cual, contribuye a ampliar la discusión existente en el contexto ecuatoriano y sugiere que la adopción de prácticas sostenibles no garantiza, por sí sola, una valoración favorable de la marca.

Finalmente, los resultados deben considerarse dentro de los límites metodológicos de la investigación. La utilización de un muestreo no probabilístico por conveniencia, la participación de 100 establecimientos de Portoviejo y la obtención de información desde la perspectiva de sus responsables restringen la generalización de los hallazgos. Futuras investigaciones podrían incorporar muestras probabilísticas, ampliar el análisis hacia otros territorios particularmente Manta y otros cantones de Manabí para de esta forma integrar directamente la perspectiva de los consumidores para examinar si el conocimiento, la percepción y la valoración de las prácticas sostenibles intervienen en la construcción del capital de marca.

## Referencias bibliográficas

Jun, K., & Yoon, B. (2024). Consumer perspectives on restaurant sustainability: An S-O-R model approach to affective and cognitive states. *Journal of Foodservice Business Research.* https://doi.org/10.1080/15378020.2024.2396687

Khan, S. A. R., Sheikh, A. A., Ashraf, M., & Yu, Z. (2022). Improving consumer-based green brand equity: The role of healthy green practices, green brand attachment, and green skepticism. *Sustainability*, 14(19), 11829. https://doi.org/10.3390/su141911829

Montesdeoca-Calderón, M. G., Gil-Saura, I., & Ruiz-Molina, M. E. (2020). ¿Cómo influyen las prácticas verdes y el manejo del desperdicio alimentario en el capital de marca de los restaurantes? *Estudios Gerenciales*, 36(154), 100–113. https://doi.org/10.18046/j.estger.2020.154.3349

Montesdeoca-Calderón, M.-G., Gil-Saura, I., Ruiz-Molina, M.-E., & Martín-Ríos, C. (2024). Does employee training in sustainable practices and food waste influence a restaurant's level of sustainability-oriented service innovation (SOSI) and brand equity? Evidence-based research into the Ecuadorian catering industry. *Sustainability*, 16(22), 9990. https://doi.org/10.3390/su16229990

Namkung, Y., & Jang, S. C. S. (2013). Effects of restaurant green practices on brand equity formation: Do green practices really matter? *International Journal of Hospitality Management*, 33, 85–95. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2012.06.006

Riva, F., Magrizos, S., Rubel, M. R. B., & Rizomyliotis, I. (2022). Green consumerism, green perceived value, and restaurant revisit intention: Millennials' sustainable consumption with moderating effect of green perceived quality. *Business Strategy and the Environment*, 31(7), 2807–2819. https://doi.org/10.1002/bse.3048

CAPÍTULO 12

# Diagnóstico de la cultura organizacional y brechas culturales en colaboradores de TIA S.A.

*Diagnosis of organizational culture and cultural gaps among TIA S.A. employees*

1 **Francisco Alfredo Valle Sánchez**
*Magíster en Administración de Empresas*
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador
fvalles@ulvr.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-1027-7922

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_12 RECIBIDO 02/09/2026 | ACEPTADO 14/10/2026

## RESUMEN

Se analizó la cultura organizacional percibida por analistas, asistentes y auxiliares de TIA S.A. en Guayaquil mediante el Modelo de Valores en Competencia de Cameron y Quinn. El objetivo fue comparar los perfiles culturales actual y preferido, identificar brechas por dimensión y formular orientaciones de gestión. Se desarrolló un estudio cuantitativo, descriptivo, transversal y no experimental con un censo de 22 colaboradores: 3 analistas, 4 asistentes y 15 auxiliares. Se procesaron resultados agregados del Instrumento de Evaluación de la Cultura Organizacional (OCAI) mediante medias, diferencias y ordenamientos descriptivos. En el perfil actual, la cultura de clan obtuvo 27,8 puntos; la adhocracia, 25,5; la jerarquía, 25,2; y el mercado, 22,2. En el perfil preferido, el clan alcanzó 27,2 puntos; la jerarquía, 26,0; el mercado, 24,3; y la adhocracia, 22,7. Las mayores brechas descriptivas se localizaron en liderazgo organizacional, unión organizacional y criterios de éxito. Debido al tamaño y composición de la población, al carácter ipsativo del OCAI y a la disponibilidad exclusiva de datos agregados, las diferencias no permiten inferir significación estadística ni generalizar los hallazgos fuera del grupo estudiado. La propuesta de cuatro fases se presenta como una recomendación teórica derivada del diagnóstico y requiere validación mediante un pilotaje con microdatos y fuentes cualitativas.

**Palabras clave:** cultura organizacional, OCAI, valores en competencia, brechas culturales, gestión organizacional

## ABSTRACT

This study examined the organizational culture perceived by analysts, assistants, and auxiliary staff at TIA S.A. in Guayaquil through Cameron and Quinn's Competing Values Framework. Its objective was to compare current and preferred cultural profiles, identify dimension-level gaps, and formulate management guidelines. A quantitative, descriptive, cross-sectional, and nonexperimental census study was conducted with 22 employees: 3 analysts, 4 assistants, and 15 auxiliary staff members. Aggregated Organizational Culture Assessment Instrument (OCAI) results were processed using descriptive means, differences, and rankings. In the current profile, clan culture scored 27.8 points, followed by adhocracy at 25.5, hierarchy at 25.2, and market at 22.2.

In the preferred profile, clan scored 27.2 points, hierarchy 26.0, market 24.3, and adhocracy 22.7. The largest descriptive gaps concerned organizational leadership, organizational glue, and criteria of success. Given the population size and composition, the ipsative nature of the OCAI, and the exclusive availability of aggregated data, the differences do not support statistical inference or generalization beyond the studied group. The four-phase proposal is a theory-based recommendation derived from the diagnosis and requires validation through a pilot study using individual-level data and qualitative sources.

**Keywords:** organizational culture, OCAI, competing values, cultural gaps, organizational management

## 1. Introducción

La cultura organizacional engloba los significados, valores, supuestos y prácticas compartidas que dan forma a la manera en que los empleados interpretan su trabajo, toman decisiones e interactúan entre sí. No se limita al entorno laboral ni a una simple declaración de valores, sino que se expresa en procedimientos, criterios de reconocimiento, estilos de liderazgo y respuestas a influencias externas. Por lo tanto, su análisis es relevante cuando una empresa busca alinear los comportamientos, estrategias y experiencias de sus empleados. La literatura iberoamericana ha demostrado que la cultura sirve tanto de base para la integración interna como de recurso para la adaptación, el aprendizaje y la competitividad (Cújar Vertel et al., 2013; Hernández-Sampieri et al., 2014; Hernández Junco et al., 2019).

En el contexto latinoamericano, el Modelo de Valores en Competencia se ha utilizado para identificar configuraciones culturales heterogéneas, comparar perfiles actual y preferido y orientar procesos de cambio. Su principal contribución consiste en reconocer que ninguna cultura es universalmente superior: las organizaciones combinan valores en tensión cuya utilidad depende del contexto y de los objetivos estratégicos. La cultura de clan prioriza la flexibilidad y la integración interna; la cultura adhocrática, la flexibilidad y el posicionamiento externo; la cultura de mercado, el control y la orientación externa; y la cultura jerárquica, el control y la integración interna (Hernández-Sampieri et al., 2014). El OCAI permite examinar estas orientaciones en seis dimensiones, pero sus resultados deben interpretarse como prioridades relativas debido a su formato ipsativo (Cameron & Quinn, 2011; Heritage et al., 2014).

Los estudios recientes confirman que la cultura organizacional debe analizarse como una configuración contextual y multinivel. Una revisión sistemática identificó la coexistencia de orientaciones hacia el grupo, el trabajo, el sistema y el negocio, y destacó la necesidad de vincular el diagnóstico con el contexto y las prácticas de gestión (Bogale & Debela, 2024). En aplicaciones del OCAI, Strengers et al. (2022) encontraron diferencias entre la percepción de directivos y empleados y combinaron encuestas con entrevistas para interpretar los perfiles; Kasa (2025) advirtió que la agregación puede ocultar subculturas y combinaciones individuales. En Ecuador, se han documentado perfiles distintos según sector y grupo profesional (Alarcón Gamboa et al., 2023; Escudero Durán et al., 2022; Sola Espinosa & Reyes, 2025).

El estudio realizado en TIA S.A. en Guayaquil se centró en analistas, asistentes y auxiliares. Los analistas desarrollan tareas estratégicas y gestionan datos en áreas como compras, costos y recursos humanos; los asistentes apoyan administrativamente a las gerencias; y los auxiliares ejecutan actividades operativas de atención al cliente, logística y soporte en tienda. Esta diversidad funcional exige examinar los valores culturales que articulan la toma de decisiones, el apoyo administrativo y la operación.

El problema de investigación surgió de la necesidad de comprender la correspondencia entre la cultura percibida por los colaboradores y la cultura que consideran preferible para su trabajo. Sin un análisis de brechas, una iniciativa de cambio podría reforzar valores existentes, debilitar atributos útiles o promover prácticas incompatibles con las necesidades de cada dimensión. Por ello, el objetivo fue analizar los perfiles culturales actual y preferido de analistas, asistentes y auxiliares de TIA S.A. en Guayaquil, identificar brechas por dimensión y formular orientaciones metodológicas coherentes con las percepciones registradas.

La contribución original del estudio consiste en ofrecer un diagnóstico por dimensiones dentro de una empresa ecuatoriana del sector retail previamente examinada con el modelo de Denison. En lugar de asignar a TIA S.A. una única cultura dominante, el análisis muestra qué orientaciones relativas se prefieren para el liderazgo, la gestión de empleados, la unión organizacional y los criterios de éxito. Este aporte es diagnóstico y contextual: formula hipótesis de gestión que deberán contrastarse con datos individuales, participación equilibrada por cargo y evidencia cualitativa.

## 2. Métodos

Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo, transversal y no experimental. El análisis utilizó datos primarios recopilados mediante el Instrumento de Evaluación de la Cultura Organizacional (OCAI) de Cameron y Quinn y documentos elaborados por los investigadores. El diseño permitió describir la configuración cultural percibida y comparar los perfiles actual y preferido; no permitió establecer relaciones causales, estimar efectos sobre el desempeño ni validar una intervención. En consecuencia, la propuesta de consolidación cultural se formula como recomendación teórica derivada de la literatura y de las brechas descriptivas, no como estrategia cuya eficacia haya sido comprobada empíricamente.

Se seleccionó el OCAI por su correspondencia con el Modelo de Valores en Competencia y por su capacidad para representar simultáneamente las culturas de clan, adhocrática, de mercado y jerárquica. El instrumento compara los perfiles actual y preferido en seis dimensiones mediante una distribución ipsativa de 100 puntos, lo que obliga a priorizar valores relativos y evita tratar las cuatro orientaciones como escalas independientes. Estudios de validación respaldan su estructura de cuatro factores, aunque también muestran que sus propiedades psicométricas deben examinarse con datos individuales y en cada contexto de aplicación (Cameron & Quinn, 2011; Heritage et al., 2014).

La población delimitada estuvo conformada por 22 colaboradores de TIA S.A. en Guayaquil: 3 analistas (13,6 %), 4 asistentes (18,2 %) y 15 auxiliares (68,2 %). Se realizó un censo de esa

población accesible, con una cobertura del 100 %. El censo elimina el error de muestreo dentro del universo definido, pero no corrige la reducida diversidad de casos ni la distribución desigual entre cargos. Como los auxiliares constituyen más de dos tercios de los participantes, el perfil agregado puede reflejar en mayor medida sus percepciones; la ausencia de microdatos impidió estimar cuánto influyó cada grupo en el resultado general o comparar estadísticamente los cargos (véase la Tabla 1).

**Tabla 1**

*Universo de análisis*

| Cargo | Participantes | Porcentaje |
|---|---|---|
| Analistas | 3 | 13,6 % |
| Asistentes | 4 | 18,2 % |
| Auxiliares | 15 | 68,2 % |
| Total | 22 | 100,0 % |

*Nota.* La población estudiada coincidió con el universo delimitado y alcanzó una cobertura censal del 100 %. Elaboración propia.

El estudio incluyó a colaboradores activos de TIA S.A. que se desempeñaban como analistas, asistentes o auxiliares en las áreas delimitadas de Guayaquil. La participación fue voluntaria y requirió completar las secciones del OCAI correspondientes a los perfiles actual y preferido. Se excluyeron personas de otros cargos o sedes, quienes estuvieron ausentes durante la recolección, quienes no aceptaron participar y los cuestionarios incompletos o con totales distintos de 100 puntos en alguna dimensión.

El procedimiento incluyó la explicación del propósito científico, la obtención del consentimiento informado y la entrega de instrucciones estandarizadas. Cada participante distribuyó 100 puntos entre las cuatro alternativas de cada dimensión para describir el perfil actual y el preferido. Se verificó la integridad de los cuestionarios y la suma de 100 puntos por dimensión. Las respuestas se registraron individualmente y no como una decisión consensuada de la gerencia.

La validez conceptual del instrumento se sustentó en el Modelo de Valores en Competencia y en la evidencia publicada sobre la estructura del OCAI (Heritage et al., 2014). En este estudio se verificó la correspondencia entre alternativas, tipos culturales y dimensiones, así como el cumplimiento del total ipsativo de 100 puntos. Esta verificación operacional no equivale a una validación psicométrica local. La base disponible contenía únicamente resultados agregados, por lo que no fue posible recalcular la consistencia interna, contrastar la estructura factorial, evaluar estabilidad temporal ni examinar patrones individuales de respuesta.

El OCAI operacionaliza la cultura organizacional mediante seis dimensiones: características dominantes, liderazgo organizacional, gestión de empleados, unión organizacional, énfasis estratégico y criterios de éxito. En cada dimensión, los participantes distribuyeron 100 puntos entre alternativas asociadas con clan, adhocracia, mercado y jerarquía para los perfiles actual y preferido.

Por su naturaleza ipsativa, el aumento de una orientación implica la reducción relativa de otra; por ello, los puntajes expresan prioridades comparativas y no niveles independientes (Hernández-Sampieri et al., 2014; Rosas Salas et al., 2020).

Los valores agregados se conservaron sin imputación ni transformación. Para cada tipo cultural se calculó la media simple de las seis dimensiones en los perfiles actual y preferido. La brecha se definió como la puntuación preferida menos la puntuación actual: los valores positivos representan un aumento relativo preferido y los negativos, una disminución relativa. Se utilizaron medias, diferencias, ordenamientos y comparaciones descriptivas entre dimensiones.

El procesamiento siguió una secuencia reproducible: verificación de integridad, agrupación por dimensión y tipo cultural, cálculo de medias generales, cálculo de brechas, ordenamiento por magnitud absoluta e interpretación conjunta de dirección y contexto. No se aplicaron pruebas inferenciales, intervalos de confianza ni tamaños del efecto. El tamaño reducido de la población limita la potencia analítica, y la falta de microdatos impide estimar dispersión, error estándar, consistencia interna y diferencias por cargo. Aplicar pruebas a promedios agregados habría generado una precisión aparente que la estructura de los datos no sustenta.

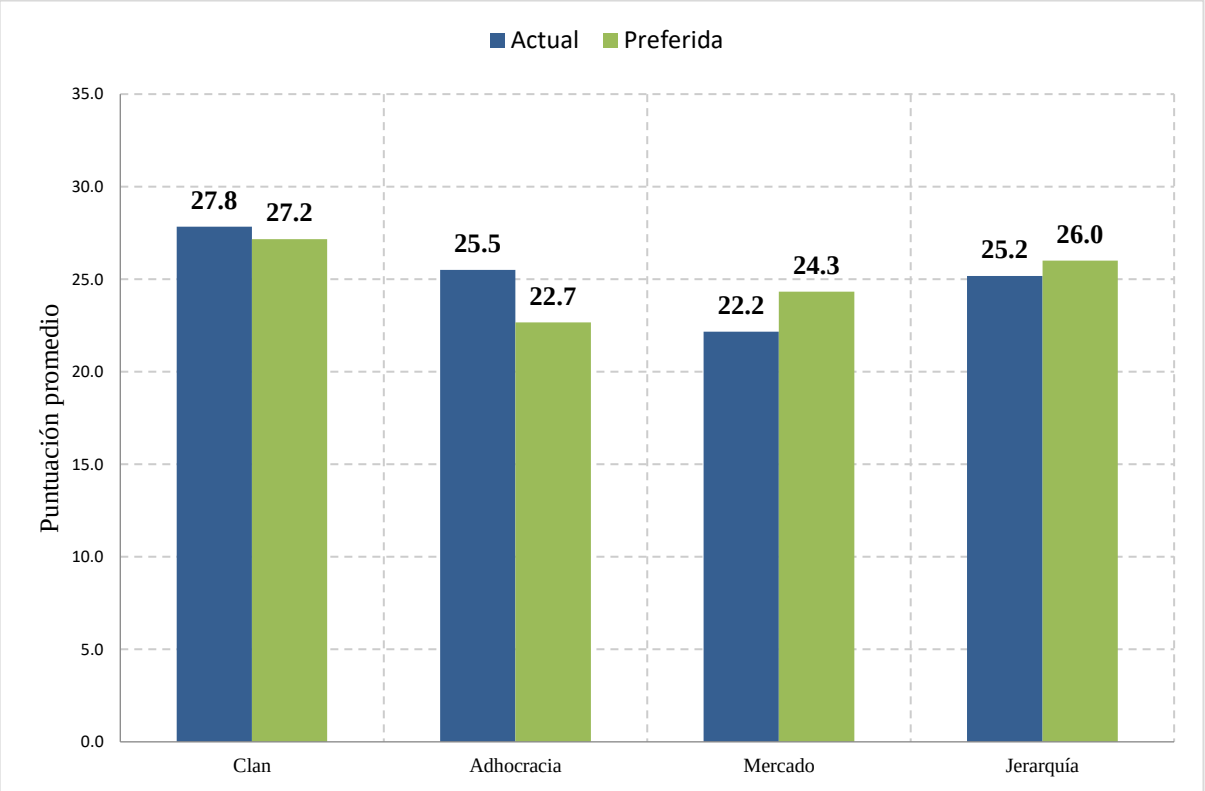
Los resultados se contrastaron con el marco teórico, la propuesta metodológica de consolidación cultural y literatura académica nacional e internacional. Este contraste documental ayudó a contextualizar las brechas, pero no constituye triangulación metodológica, porque no se recopilaron entrevistas, grupos focales, observaciones ni indicadores de desempeño. La base analizada no incluyó nombres ni datos personales. La participación fue voluntaria, con consentimiento informado, confidencialidad, derecho a no participar y uso científico de la información.

## 3. Resultados

La Figura 1 presenta los promedios globales. En el perfil actual, el clan registró 27,8 puntos; la adhocracia, 25,5; la jerarquía, 25,2; y el mercado, 22,2. En el perfil preferido, el clan alcanzó 27,2 puntos; la jerarquía, 26,0; el mercado, 24,3; y la adhocracia, 22,7. La amplitud entre los valores extremos pasó de 5,6 a 4,5 puntos. Estas distancias describen el patrón agregado, pero no permiten afirmar diferencias estadísticamente significativas.

**Figura 1**

*Perfil cultural global actual y preferido*




*Nota.* Elaboración propia con base en los resultados agregados del OCAI.

**Tabla 2**

*Resultados por dimensión*

| Dimensión | Cl-A | Ad-A | M-A | J-A | Cl-P | Ad-P | M-P | J-P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Características dominantes | 32 | 29 | 17 | 22 | 33 | 23 | 22 | 24 |
| Liderazgo organizacional | 26 | 27 | 26 | 21 | 31 | 20 | 27 | 24 |
| Gestión de empleados | 23 | 28 | 22 | 27 | 28 | 24 | 23 | 26 |
| Unión organizacional | 30 | 22 | 22 | 28 | 23 | 25 | 28 | 25 |
| Énfasis estratégico | 28 | 22 | 23 | 28 | 24 | 23 | 22 | 25 |
| Criterios de éxito | 28 | 25 | 23 | 25 | 24 | 21 | 24 | 32 |

*Nota.* Cl = clan; Ad = adhocracia; M = mercado; J = jerarquía; A = actual; P = preferido. Elaboración propia.

La Tabla 2 desagrega los perfiles por dimensión. En características dominantes, el clan pasó de 32 a 33 puntos, la adhocracia de 29 a 23, el mercado de 17 a 22 y la jerarquía de 22 a 24. La mayor variación absoluta de esta dimensión fue la reducción descriptiva de seis puntos en adhocracia.

En liderazgo organizacional, el clan aumentó de 26 a 31 puntos, la adhocracia disminuyó de 27 a 20, el mercado pasó de 26 a 27 y la jerarquía de 21 a 24. La brecha de mayor magnitud fue la disminución de siete puntos en adhocracia, seguida por el aumento de cinco puntos en clan.

En gestión de empleados, el clan aumentó de 23 a 28 puntos, la adhocracia disminuyó de 28 a 24, el mercado pasó de 22 a 23 y la jerarquía de 27 a 26. El cambio descriptivo principal fue el aumento de cinco puntos en clan.

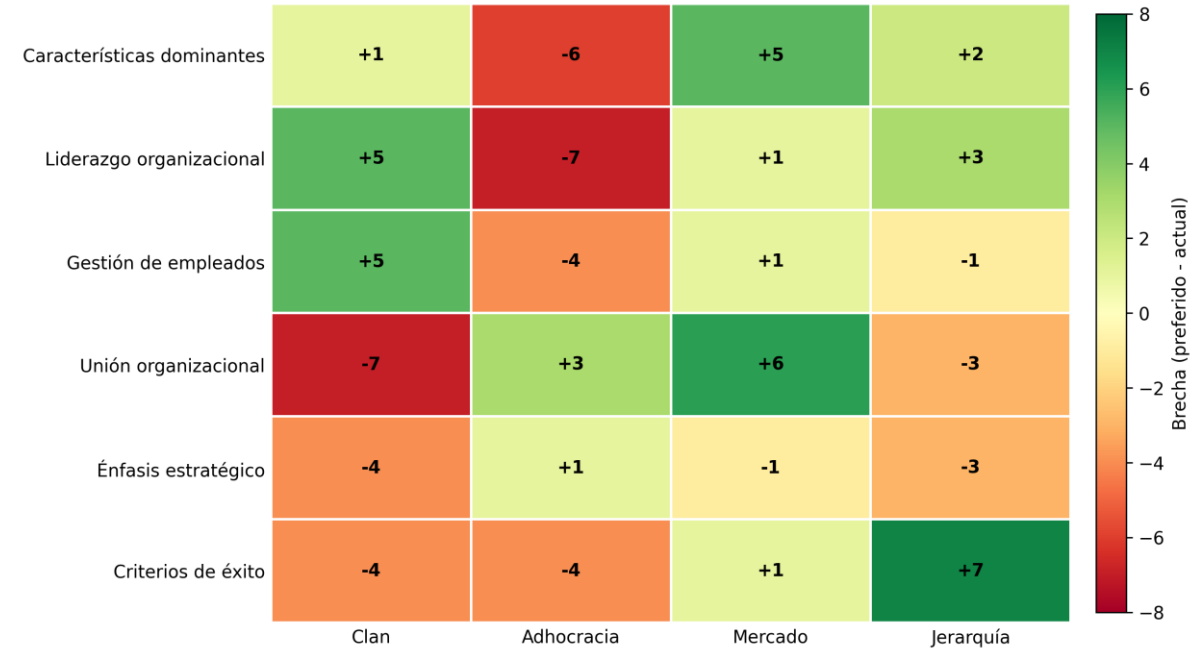
En unión organizacional, el clan disminuyó de 30 a 23 puntos, la adhocracia aumentó de 22 a 25, el mercado pasó de 22 a 28 y la jerarquía disminuyó de 28 a 25. Las mayores brechas fueron −7 en clan y +6 en mercado.

En énfasis estratégico, las brechas oscilaron entre −4 y +1 puntos: clan pasó de 28 a 24, adhocracia de 22 a 23, mercado de 23 a 22 y jerarquía de 28 a 25. En criterios de éxito, la jerarquía aumentó de 25 a 32 puntos, mientras clan y adhocracia disminuyeron cuatro puntos cada uno y mercado aumentó un punto.

La Figura 2 resume la dirección y magnitud de las brechas, y la Tabla 3 organiza las prioridades descriptivas. Los cambios de mayor magnitud absoluta se concentraron en liderazgo organizacional, unión organizacional y criterios de éxito. Esta priorización se basa en diferencias numéricas agregadas; no constituye una jerarquía validada mediante significación estadística.

**Figura 2**

*Brechas por dimensión y tipo cultural*




*Nota.* Los tonos verdes indican aumentos relativos preferidos y los rojos, disminuciones. Brecha = puntuación preferida menos puntuación actual. Elaboración propia.

**Tabla 3**

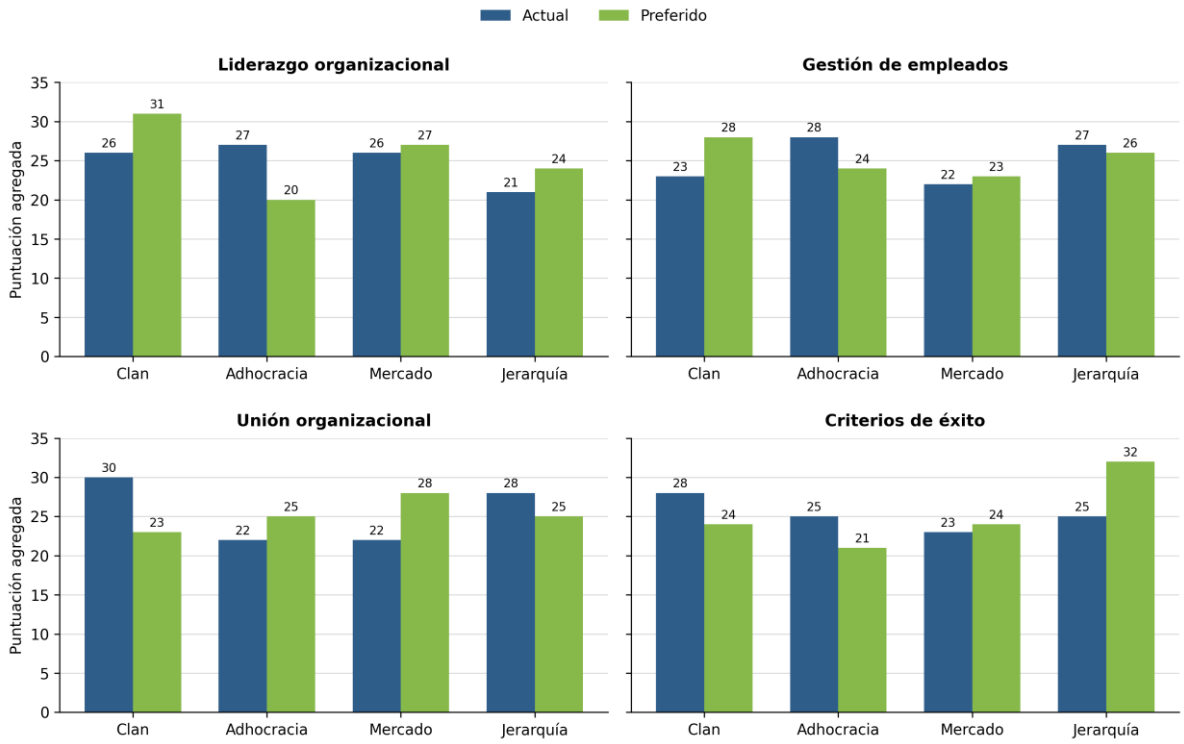
*Síntesis de brechas y prioridades*

| Prioridad | Evidencia | Implicación de gestión |
|---|---|---|
| Liderazgo mentor | Clan +5; adhocracia −7 | Aumentar orientación, escucha y acompañamiento, con metas claras. |
| Gestión participativa | Clan +5 en gestión de empleados | Formalizar equipos, consulta y reconocimiento colectivo. |
| Unión por resultados | Mercado +6 y clan −7 en unión | Conectar confianza con adhesión y objetivos compartidos. |
| Éxito por eficiencia | Jerarquía +7 en criterio de éxito | Definir procesos, estándares, indicadores y entregas confiables. |
| Innovación selectiva | Adhocracia global −2,8 | Conservar experimentación donde aporte valor, evitando improvisación. |

*Nota.* Elaboración propia con base en las brechas calculadas mediante el OCAI.

**Figura 3**

*Comparación de los perfiles actual y preferido en las dimensiones prioritarias*




*Nota.* Las barras comparan las puntuaciones agregadas de los perfiles actual y preferido. Las brechas representan redistribuciones relativas entre orientaciones culturales y no efectos causales. Elaboración propia.

La Figura 3 compara los perfiles actual y preferido en las cuatro dimensiones priorizadas. El patrón no apunta hacia una única orientación cultural: el clan aumenta en liderazgo y gestión de empleados; el mercado aumenta en unión organizacional; y la jerarquía aumenta en criterios de éxito. Estas variaciones delimitan temas para discusión y gestión, pero no prueban que una orientación produzca mejores resultados ni que las diferencias se reproduzcan en cada cargo.

En términos prácticos, el patrón de liderazgo es compatible con una mayor preferencia relativa por acompañamiento, escucha y retroalimentación, junto con objetivos y procesos definidos. Esta lectura debe comprobarse con información individual y cualitativa antes de modificar prácticas de supervisión.

En gestión de empleados, el aumento relativo del clan puede orientar un pilotaje de consulta, trabajo interfuncional y reconocimiento colectivo. La reducción de adhocracia no debe interpretarse como rechazo a la innovación, sino como una redistribución de prioridades dentro de una escala ipsativa.

En unión organizacional, el aumento del mercado y la reducción del clan permiten plantear, como hipótesis de gestión, una cohesión apoyada en objetivos compartidos, compromisos interdepartamentales e indicadores comunes. Esta hipótesis no implica que la confianza o la lealtad hayan perdido relevancia.

En criterios de éxito, el aumento relativo de la jerarquía orienta la atención hacia procesos estables, cumplimiento de plazos, reducción de errores y continuidad operativa. Su aplicación práctica debería equilibrar la estandarización con el aprendizaje y la autonomía necesaria para resolver situaciones no rutinarias.

## 4. Discusión

La configuración observada debe interpretarse como una combinación contingente de valores, no como una sustitución de una cultura por otra. La revisión sistemática de Bogale y Debela (2024) muestra que la cultura organizacional integra orientaciones hacia el grupo, el trabajo, el sistema y el negocio, cuya utilidad depende de las demandas internas y externas. En TIA S.A., la preferencia por relaciones participativas en la conducción de personas, metas compartidas para la coordinación y criterios confiables para evaluar resultados es coherente con esa perspectiva plural.

La comparación internacional también obliga a moderar la lectura del perfil agregado. En cinco empresas de crecimiento acelerado, Strengers et al. (2022) identificaron diferencias entre directivos y empleados y combinaron el OCAI con entrevistas para comprenderlas. En este estudio, la representación desigual de los cargos y la ausencia de respuestas individuales impiden determinar si analistas, asistentes y auxiliares comparten el mismo perfil. Por tanto, el promedio general describe al grupo censado, pero puede ocultar subculturas ocupacionales.

Este riesgo coincide con la propuesta de Kasa (2025), quien advierte que la agregación convencional del OCAI puede perder combinaciones culturales individuales. La consecuencia analítica es concreta: una diferencia pequeña entre promedios no debe traducirse automáticamente en una prioridad organizacional, y una brecha amplia tampoco demuestra por sí sola que exista consenso. Se requieren distribuciones individuales, medidas de variabilidad y comparación por cargo para evaluar la estabilidad del patrón.

En el contexto ecuatoriano, Escudero Durán et al. (2022) y Sola Espinosa y Reyes (2025) documentaron que los perfiles actual y preferido varían según el tipo de institución y los grupos considerados. Alarcón Gamboa et al. (2023) mostró, en empresas bananeras, que los valores de compromiso y libertad de expresión pueden coexistir con debilidades en capacitación, bienestar e innovación. En el sector salud mexicano, Baltazar-Gómez et al. (2022) identificaron relaciones entre cultura, satisfacción y desempeño; sin embargo, las diferencias sectoriales y metodológicas impiden trasladar esas asociaciones a TIA S.A. Estos antecedentes apoyan una lectura contextual de los hallazgos.

La comparación más cercana corresponde a Valle-Sánchez et al. (2022), quienes estudiaron TIA S.A. mediante el modelo de Denison y señalaron fortalezas vinculadas con trabajo en equipo, consistencia e innovación. El presente diagnóstico coincide en la relevancia de la colaboración, pero añade una lectura por dimensiones mediante el OCAI. Esta convergencia es conceptual, no una triangulación empírica, porque los estudios utilizaron instrumentos, momentos y bases de datos diferentes.

Desde la gestión, los hallazgos permiten formular hipótesis diferenciadas: mentoría y retroalimentación para el liderazgo; participación con responsabilidades claras para la gestión de empleados; objetivos interdepartamentales para la unión organizacional; y estándares verificables para los criterios de éxito. La literatura vincula los roles de liderazgo con la configuración cultural y advierte que la relación entre cultura y rendimiento depende del contexto organizacional (Ochoa Hidalgo, 2016; Salas-Arbeláez et al., 2017). Estas hipótesis deben someterse a pilotaje, pues el diseño descriptivo no permite afirmar que su aplicación mejorará el desempeño, la satisfacción o el compromiso.

La ausencia de triangulación limita la explicación de las brechas. El OCAI identifica prioridades relativas, pero no revela por qué los participantes asignaron esos puntajes ni cómo se expresan los valores en decisiones, rutinas e interacciones. Entrevistas por cargo, grupos focales y observación de procesos permitirían distinguir entre una preferencia compartida, una respuesta condicionada por funciones operativas y diferencias entre subgrupos.

La principal implicación crítica es evitar programas culturales uniformes. Un énfasis excesivo en jerarquía podría aumentar la burocracia; una orientación de mercado mal diseñada podría fomentar competencia interna; y un enfoque de clan sin rendición de cuentas podría debilitar la claridad de responsabilidades. La disposición al cambio depende de la relación entre prácticas culturales y condiciones organizacionales, no de una orientación aislada (Vesga Rodríguez et al., 2020). La propuesta debe conservar la complementariedad entre participación, coordinación por objetivos y estabilidad operativa, y evaluar posibles efectos no deseados.

El aporte científico es contextual y metodológico. El estudio aplica el análisis de brechas del OCAI a cargos estratégicos, administrativos y operativos de una empresa ecuatoriana del sector retail, y muestra que las preferencias pueden variar según la dimensión analizada. Frente a investigaciones que informan un tipo dominante, esta lectura propone una arquitectura cultural condicional que vincula cada orientación con una función de gestión específica.

El aporte práctico consiste en convertir el diagnóstico en criterios para diseñar y evaluar un piloto, sin presentar la propuesta como intervención validada. La secuencia de alineación, habilitación, integración y seguimiento ofrece una estructura verificable para contrastar conductas, procesos e indicadores. Su utilidad dependerá de recopilar una línea base, incluir equilibradamente a los tres cargos y comparar los resultados antes y después del pilotaje.

En síntesis, el estudio amplía el conocimiento disponible sobre TIA S.A. al complementar el diagnóstico previo de Denison con una comparación OCAI entre perfiles actual y preferido. La contribución no consiste en demostrar efectos causales, sino en delimitar hipótesis de cambio por dimensión y explicitar las condiciones metodológicas necesarias para evaluarlas.

La propuesta metodológica de consolidación cultural comprende cuatro fases y debe entenderse como una recomendación teórica sujeta a validación. La fase de alineación busca discutir los resultados con representantes de los tres cargos y traducir las orientaciones preferidas en conductas observables. La fase de habilitación contempla formación de líderes en escucha activa, retroalimentación, establecimiento de objetivos y desarrollo de colaboradores.

La fase de integración incorporaría las conductas acordadas en selección, inducción, evaluación, reconocimiento y mejora de procesos. La fase de seguimiento combinaría una nueva aplicación del OCAI con indicadores de rotación, ausentismo, cumplimiento, errores, tiempo de respuesta y experiencia del empleado. La Tabla 4 resume estas fases; su implementación no debe iniciarse sin una línea base, responsables, cronograma, recursos y criterios de detención.

**Tabla 4**

*Propuesta metodológica de consolidación cultural*

| Fase | Acciones centrales | Indicadores sugeridos |
|---|---|---|
| 1. Alineación | Talleres por cargo; validación de brechas; conductas esperadas. | Participación; acuerdos validados; línea base completa. |
| 2. Habilitación | Formación de líderes; retroalimentación; metas y conversaciones. | Líderes formados; calidad de retroalimentación; adhesión. |
| 3. Integración | Equipos interfuncionales; procesos críticos; reconocimiento dual. | Errores; tiempos; metas compartidas; reconocimientos. |
| 4. Seguimiento | Pulso trimestral; OCAI anual; revisión de indicadores. | Brechas culturales; rotación; ausentismo; cumplimiento. |

*Nota.* Elaboración propia a partir de las prioridades identificadas en el diagnóstico cultural.

La propuesta debería comenzar con un piloto acotado y evaluable. Un comité con representación de analistas, asistentes, auxiliares y Recursos Humanos revisaría la línea base, los riesgos y los resultados. La expansión a otras áreas solo sería justificable si el piloto muestra cambios consistentes en conductas e indicadores y no produce efectos adversos, como mayor burocracia, competencia interna o pérdida de iniciativa.

### 4.1. Limitaciones del estudio

Aunque el censo incluyó a los 22 integrantes de la población delimitada, el reducido número de participantes limita la diversidad de experiencias observadas y la transferencia de los resultados. La cobertura del 100 % evita error de muestreo dentro de ese grupo, pero no amplía la validez externa. Los hallazgos corresponden únicamente a los cargos, áreas, sedes y periodo estudiados; no deben extrapolarse a toda TIA S.A., a otras sucursales ni al sector retail ecuatoriano.

La composición ocupacional fue desigual: 15 auxiliares, 4 asistentes y 3 analistas. En consecuencia, el perfil agregado puede estar más influido por el grupo mayoritario. Como no se dispuso de microdatos, no fue posible ponderar o comparar los cargos, estimar variabilidad, identificar subculturas, evaluar consistencia interna ni calcular intervalos de confianza, significación estadística o tamaños del efecto. Las brechas deben leerse como diferencias descriptivas y prioridades relativas del grupo censado.

La naturaleza ipsativa del OCAI exige interpretar cada aumento como una redistribución respecto de las demás orientaciones. Además, el estudio no midió desempeño, satisfacción, compromiso ni clima laboral, por lo que no puede atribuir consecuencias organizacionales a los perfiles. La propuesta de cuatro fases no fue implementada ni evaluada y, por tanto, no constituye una intervención validada.

La investigación utilizó una sola fuente cuantitativa y careció de triangulación mediante entrevistas, grupos focales, observación o indicadores administrativos. Esta ausencia impide explicar las razones de los puntajes y contrastar la correspondencia entre percepciones, prácticas y resultados. Futuros estudios deberían conservar microdatos anonimizados, equilibrar la participación por cargo, incorporar varias sedes y periodos, y aplicar un diseño longitudinal de métodos mixtos que permita evaluar fiabilidad, variabilidad, diferencias entre grupos y cambios posteriores al pilotaje.

## 5. Conclusiones

El diagnóstico descriptivo indica una configuración cultural combinada: el clan conserva el mayor promedio global, mientras las prioridades por dimensión apuntan hacia un liderazgo y una gestión de empleados más participativos, una unión organizacional apoyada en objetivos compartidos y criterios de éxito con mayor énfasis en procesos confiables. Estas tendencias corresponden a resultados agregados del grupo censado y no representan diferencias estadísticamente confirmadas ni una caracterización generalizable de TIA S.A.

El aporte original radica en identificar una arquitectura cultural condicional dentro de una empresa ecuatoriana del sector retail: distintas orientaciones pueden cumplir funciones complementarias según la dimensión de gestión. El estudio complementa el antecedente de Valle-Sánchez et al. (2022) al introducir una comparación OCAI entre perfiles actual y preferido. Su contribución científica consiste en formular hipótesis por dimensión; su contribución práctica,

en convertirlas en criterios para un piloto evaluable. Ninguno de estos aportes demuestra causalidad o eficacia de la propuesta.

La implementación organizacional debería comenzar con un piloto acotado, una línea base y participación equilibrada de analistas, asistentes y auxiliares. El comité responsable tendría que definir conductas esperadas, indicadores, recursos, plazos y riesgos; combinar acompañamiento a líderes, equipos interfuncionales y documentación de procesos; y comparar resultados antes y después. La expansión solo debería considerarse si se observan mejoras consistentes y no aparecen efectos adversos.

Las investigaciones futuras deben recopilar respuestas individuales anonimizadas, incluir otras áreas y sedes y adoptar diseños longitudinales de métodos mixtos. La combinación del OCAI con entrevistas, grupos focales, observación e indicadores de desempeño permitiría explicar las brechas, evaluar la fiabilidad del instrumento, comparar cargos y determinar si los cambios persisten. Con microdatos suficientes podrían aplicarse pruebas acordes con la naturaleza ipsativa de la medición y calcularse intervalos de confianza y tamaños del efecto.

## Referencias bibliográficas

Alarcón Gamboa, I. B., León Saltos, A. C., & López Paredes, M. A. (2023). La cultura de innovación: Estudio de caso de empresas bananeras ecuatorianas. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, *27*(Especial), 95–110. https://doi.org/10.47460/uct.v2023ispecial.747

Baltazar-Gómez, D. Y., Rosas-González, E., Rodríguez, I. G., Ibarra-Gutiérrez, M. J., & Pirez-Lindoro, M. Á. (2022). Relación entre cultura organizacional, satisfacción laboral y desempeño en trabajadores de salud en Querétaro, México. *SANUS*, *7*, e295. https://doi.org/10.36789/revsanus.vi1.295

Bogale, A. T., & Debela, K. L. (2024). Organizational culture: A systematic review. *Cogent Business & Management*, *11*(1), Article 2340129. https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2340129

Cameron, K. S., & Quinn, R. E. (2011). *Diagnosing and changing organizational culture: Based on the competing values framework* (3rd ed.). Jossey-Bass.

Cújar Vertel, A. del C., Ramos Paternina, C. D., Hernández Riaño, H. E., & López Pereira, J. M. (2013). Cultura organizacional: Evolución en la medición. *Estudios Gerenciales*, *29*(128), 350–355. https://doi.org/10.1016/j.estger.2013.09.009

Escudero Durán, M. L., Japón Gualán, Á. R., Orellana Moscoso, A. F., & Franco Pombo, M. R. (2022). Cultura organizacional actual y deseada de la Universidad de Cuenca (2019–2021): Análisis desde el modelo de valores en competencia de Cameron y Quinn. *RUNAE. Revista Científica de Investigación Educativa*, (7), 99–118. https://revistas.unae.edu.ec/index.php/runae/article/view/705

Heritage, B., Pollock, C., & Roberts, L. D. (2014). Validation of the Organizational Culture Assessment Instrument. *PLOS ONE*, *9*(3), e92879. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092879

Hernández Junco, V., Quintana Tápanes, L., Mederos Torres, R., Guedes Díaz, R., & García Gutiérrez, B. N. (2019). La cultura organizacional: Principales desafíos teóricos y metodológicos para su estudio. *Cofin Habana*, *13*(1), e09. https://www.redalyc.org/journal/5523/552364016011/html/

Hernández-Sampieri, R., Méndez-Valencia, S., & Contreras-Soto, R. (2014). Construcción de un instrumento para medir el clima organizacional en función del Modelo de los Valores en Competencia. *Contaduría y Administración, 59*(1), 229–257. https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71250-1

Kasa, R. (2025). Capturing blended subcultures through individual-level cultural vectors: A new method for Competing Values Framework-driven Organizational Culture Assessment Instrument. *Humanities and Social Sciences Communications, 12*(1), 1–28. https://doi.org/10.1057/s41599-025-05819-3

Ochoa Hidalgo, J. F. (2016). El liderazgo y su relación con el modelo de valores en competencia. *Telos, 18*(1), 17–38. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5655381

Rosas Salas, F. X., Espinosa Ochoa, O. P., & Rubio Díaz, M. P. (2020). Descifrando la cultura dominante y preferida en el ámbito universitario desde el Modelo de Valores por Competencia. *Economía y Política*, (32), 9–37. https://doi.org/10.25097/rep.n32.2020.01

Salas-Arbeláez, L., García Solarte, M., & Murillo Vargas, G. (2017). Efecto de la cultura organizacional en el rendimiento de las pymes de Cali. *Suma de Negocios, 8*(18), 88–95. https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.11.006

Sola Espinosa, D. F., & Reyes, V. M. (2025). Cultura organizacional en un instituto tecnológico de educación superior. *Espacios, 46*(3), 401–416. https://doi.org/10.48082/espacios-a25v46n03p31

Strengers, J., Mutsaers, L., van Rossum, L., & Graamans, E. (2022). The organizational culture of scale-ups and performance. *Journal of Organizational Change Management, 35*(8), 115–130. https://doi.org/10.1108/JOCM-09-2021-0268

Valle-Sánchez, F. A., Idrovo-Avecillas, M. J.-M., & Hernández-Armendáriz, M. (2022). Modelo Denison para el planteamiento de estrategias de endomarketing en las empresas SUMESA y TIA de la ciudad de Guayaquil. *UDA AKADEM, 1*(9), 266–310. https://doi.org/10.33324/udaakadem.v1i9.485

Vesga Rodríguez, J. J., Rubiano, M. G., Forero Aponte, C., Aguilar Bustamante, M. C., Jaramillo, J. Á., Quiroz González, E., Castaño González, E. J., Andrade Jaramillo, V., & Gómez Vélez, M. A. (2020). Aspectos de la cultura organizacional y su relación con la disposición al cambio organizacional. *Suma Psicológica, 27*(1), 52–61. https://doi.org/10.14349/sumapsi.2020.v27.n1.7

# Parte V.

*Ciencia, ingeniería e innovación tecnológica.*

CAPÍTULO 13

# Priorización de auditorías en proyectos públicos de infraestructura mediante AHP–TOPSIS: aplicación en el sur del Ecuador

*Audit prioritization for public infrastructure projects using AHP–TOPSIS: an application in southern Ecuador*

1 **Wilson Eduardo Jaramillo Sangurima**
*Magíster en Construcción Civil en Desarrollo Sustentable*
Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador
wijaramillosa@uide.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-4058-5053

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_13 RECIBIDO 25/08/2026 | ACEPTADO 14/10/2026

## RESUMEN

La asignación de recursos limitados de auditoría a proyectos públicos de infraestructura requiere criterios explícitos para establecer prioridades de control. El objetivo del estudio fue aplicar un modelo integrado AHP–TOPSIS para priorizar la atención auditora en cinco proyectos de infraestructura urbana y habitabilidad de El Oro, Loja y Azuay, Ecuador. Se desarrolló un estudio cuantitativo, descriptivo-evaluativo y de casos múltiples, enmarcado en la Ciencia del Diseño, con selección intencional no probabilística e información documental pública. El software Análisis Multicriterio PRO integró ponderación AHP, suma ponderada, TOPSIS y análisis de sensibilidad. Se consideraron exposición financiera, plazo, cobertura social, complejidad técnica, integralidad de hábitat y riesgo de ejecución. Las ponderaciones y calificaciones cualitativas expresaron juicios individuales del investigador; determinadas cifras de cobertura correspondieron a estimaciones indirectas. La matriz AHP presentó una razón de consistencia de 0,0059. La Primavera ocupó el primer lugar en ambos métodos, con un coeficiente TOPSIS de 0,8925, seguida de Río Amarillo, con 0,4760. Alamor–Puyango y la avenida 14ava Nor-Este intercambiaron las posiciones intermedias, mientras el mejoramiento vial de Machala obtuvo la menor prioridad relativa. La Primavera mantuvo el liderazgo en los 30 escenarios de sensibilidad. La contribución consiste en adaptar herramientas multicriterio a la priorización auditora de contratos adjudicados. La aplicación es demostrativa y requiere validación computacional e institucional adicional. El ranking puede apoyar el control preventivo, pero no evalúa el desempeño contractual ni constituye evidencia de irregularidades, incumplimientos o deficiencias de ejecución.

**Palabras clave:** priorización de auditorías, AHP–TOPSIS, infraestructura pública, decisión multicriterio, control preventivo, Ecuador

**ABSTRACT**

Allocating limited audit resources to public infrastructure projects requires explicit criteria for establishing oversight priorities. This study aimed to apply an integrated AHP–TOPSIS model to prioritize audit attention across five urban infrastructure and housing-related projects in El Oro, Loja, and Azuay, Ecuador. A quantitative, descriptive-evaluative multiple-case study was conducted within a Design Science framework, using purposive, non-probability sampling and publicly available documentary information. The Análisis Multicriterio PRO software integrated AHP weighting, weighted-sum aggregation, TOPSIS, and sensitivity analysis. Six criteria were considered: financial exposure, execution time, population coverage, technical complexity, integration of housing and urban services, and execution risk. Weights and qualitative scores reflected the researcher's individual judgments; some population coverage figures were indirect estimates. The AHP matrix yielded a consistency ratio of 0.0059. La Primavera ranked first under both methods, with a TOPSIS closeness coefficient of 0.8925, followed by Río Amarillo at 0.4760. Alamor–Puyango and 14ava Nor-Este Avenue exchanged intermediate positions, whereas the Machala road improvement project received the lowest relative priority. La Primavera retained first place across all 30 sensitivity scenarios. The contribution lies in adapting multicriteria tools to audit prioritization for awarded contracts. The application is demonstrative and requires further computational and institutional validation. The ranking may support preventive oversight, but it neither assesses contractual performance nor constitutes evidence of irregularities, non-compliance, or execution deficiencies.

**Keywords:** audit prioritization, AHP–TOPSIS, public infrastructure, multicriteria decision-making, preventive oversight, Ecuador

## 1. Introducción

La asignación de recursos limitados de auditoría entre proyectos públicos de infraestructura requiere considerar diferencias de monto contractual, plazo, cobertura social, complejidad técnica y riesgo de ejecución. Las intervenciones viales, de regeneración urbana y habitacionales presentan condiciones heterogéneas que impiden establecer prioridades de control únicamente mediante su valor económico. La integración de estas dimensiones configura un problema de decisión multicriterio, en el que deben explicitarse los criterios y las preferencias utilizados para comparar alternativas (Ding & Langston, 2004).

En Ecuador, la ejecución contractual comprende responsabilidades diferenciadas: el contratista ejecuta la obra, el fiscalizador verifica su calidad y avance, y el administrador vigila el cumplimiento de las obligaciones contractuales. Las Normas de Control Interno establecen funciones de administración y fiscalización, así como disposiciones para identificar, valorar y responder a riesgos que comprometan los objetivos institucionales y los recursos públicos (Contraloría General del Estado [CGE], 2023, normas 300-01 a 300-04, 408-17 y 408-18). La priorización propuesta no sustituye estas responsabilidades; busca aportar un insumo trazable para orientar la atención auditora sobre contratos ya adjudicados.

Los métodos multicriterio permiten estructurar decisiones que combinan información cuantitativa y valoraciones cualitativas. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) determina ponderaciones mediante comparaciones pareadas y permite comprobar la consistencia de los juicios

(Saaty & Vargas, 2012). Complementariamente, la Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS) ordena alternativas según su cercanía a una solución ideal y su distancia respecto de una solución de referencia negativa (Hwang & Yoon, 1981). En esta aplicación, dichas soluciones representan perfiles de máxima y mínima prioridad auditora, no niveles de calidad o desempeño contractual.

La literatura internacional ofrece antecedentes de decisión multicriterio en construcción. Taylan et al. (2014) emplearon AHP y TOPSIS difusos para seleccionar proyectos y evaluar riesgos; Ebrahimnejad et al. (2012) desarrollaron un enfoque grupal de selección en un entorno difuso; y Fallahpour et al. (2020) propusieron un sistema de selección sostenible mediante programación de preferencias e inferencia difusas. Estos trabajos respaldan la utilidad de estructurar decisiones con múltiples atributos, aunque sus propósitos difieren de la programación de atención auditora abordada aquí.

La contribución del estudio consiste en adaptar herramientas existentes a la priorización relativa de auditorías, no en formular un nuevo algoritmo AHP–TOPSIS. La propuesta articula requisitos de elegibilidad documental, seis criterios operativos y rúbricas cualitativas mediante el software Análisis Multicriterio PRO. Su desarrollo se enmarca en la Ciencia del Diseño como un artefacto de apoyo a una decisión práctica (Peffers et al., 2007). Las ponderaciones expresan preferencias individuales del investigador, no posiciones institucionales, y la aplicación tiene carácter demostrativo. Una mayor prioridad no constituye evidencia de irregularidades, incumplimientos o deficiencias de ejecución.

La pregunta de investigación es: ¿cómo puede un modelo integrado AHP–TOPSIS establecer prioridades relativas de auditoría, de manera trazable y consistente, entre proyectos públicos contratados? El objetivo es aplicar el modelo a cinco proyectos de infraestructura urbana y habitabilidad de El Oro, Loja y Azuay, considerando exposición financiera, plazo de ejecución, cobertura social, complejidad técnica, integralidad de hábitat y riesgo de ejecución, y examinar la consistencia de las ponderaciones y la estabilidad del ranking mediante análisis de sensibilidad.

## 2. Métodos

Se desarrolló un estudio cuantitativo, descriptivo-evaluativo, de casos múltiples y alcance exploratorio, enmarcado en la Ciencia del Diseño (Peffers et al., 2007). La decisión modelada fue priorizar la atención auditora entre proyectos públicos contratados, no seleccionar inversiones ni evaluar su desempeño.

### 2.1. Selección y fuentes documentales

Mediante muestreo intencional no probabilístico se seleccionaron cinco proyectos de El Oro, Loja y Azuay: La Primavera, mejoramiento vial de Machala, Alamor–Puyango, avenida 14ava Nor-Este y Río Amarillo (Tabla 1). La selección respondió a su diversidad contractual y funcional y a la disponibilidad de documentación para aplicar los criterios. Los procedimientos se identificaron en los datos abiertos del Servicio Nacional de Contratación Pública [SERCOP] y se contrastaron con

expedientes del portal institucional: adjudicaciones, contratos, presupuestos, cronogramas y especificaciones técnicas (SERCOP, 2026a).

**Tabla 1**

*Casos de estudio*

| ID | Proyecto | Provincia | Monto sin IVA (USD) | Plazo (días) |
|---|---|---|---|---|
| P1 | Vía La Primavera | El Oro | 17 800 934,40 | 540 |
| P2 | Machala Etapa 3 | El Oro | 1 713 551,86 | 270 |
| P3 | Alamor-Puyango | Loja | 1 195 767,29 | 365 |
| P4 | Av. 14ava Nor-Este | El Oro | 1 466 115,83 | 540 |
| P5 | Río Amarillo | Azuay | 6 680 220,98 | 540 |

*Nota.* Elaboración propia con base en los expedientes de La Primavera (SERCOP, 2025a), Machala etapa 3 (SERCOP, 2025c), Alamor–Puyango (SERCOP, 2024), avenida 14ava Nor-Este (SERCOP, 2026b) y Río Amarillo (SERCOP, 2025b).

Se exigieron seis requisitos no compensatorios de elegibilidad: código verificable, entidad identificada, objeto explícito, monto, plazo y contrato o resolución de adjudicación disponibles (Tabla 2). Su cumplimiento no implicó disponer de información completa y actualizada de ejecución. La cartera no es estadísticamente representativa; la transferibilidad corresponde al procedimiento, previa revisión de criterios y datos, no al ranking obtenido.

**Tabla 2**

*Requisitos mínimos y justificación*

| Requisito | Justificación |
|---|---|
| Código SERCOP verificable | Identifica de forma única el procedimiento y permite contrastar su información pública. |
| Entidad contratante identificada | Permite ubicar la responsabilidad institucional para fines de seguimiento. |
| Objeto contractual explícito | Define el alcance material de la obra y respalda la valoración técnica. |
| Monto contractual disponible | Permite medir la exposición de recursos públicos. |
| Plazo contractual disponible | Permite estimar el horizonte temporal y los hitos de control. |
| Contrato o resolución de adjudicación disponible | Acredita la existencia de respaldo documental mínimo y la fase procedimental. |

*Nota.* Los cinco proyectos fueron clasificados como aptos para el análisis. Elaboración propia.

## 2.2. Criterios y calificaciones

Se aplicaron seis criterios orientados a máxima prioridad auditora: exposición financiera, plazo, cobertura social, complejidad técnica, integralidad de hábitat y riesgo de ejecución (Tabla 3).

Los tres últimos fueron valorados documentalmente por el investigador mediante rúbricas ordinales: bajo (1–4), medio (5–7) y alto (8–10). Se consideraron sistemas e interfaces constructivas, componentes funcionales y condiciones de madurez contractual. Los valores específicos incorporan juicio técnico individual, no una fórmula automática ni indicadores oficiales de desempeño (Apéndice A). La ausencia de avance documentado no se interpretó como prueba de incumplimiento.

**Tabla 3**

*Criterios de evaluación multicriterio y su justificación*

| Criterio | Unidad / escala | Razón de inclusión |
|---|---|---|
| EF: Exposición financiera | USD sin IVA | Un monto mayor implica mayor volumen de recursos públicos expuestos y demanda mayor control. |
| PE: Plazo de ejecución | Días calendario | Representa duración de la exposición administrativa y cantidad potencial de hitos de seguimiento. |
| CS: Cobertura social | Personas reportadas o estimadas como población de referencia | Incorpora la magnitud de población afectada por retrasos o contingencias. |
| CT: Complejidad técnica | Rúbrica 1–10 | Refleja sistemas constructivos, especialidades e interfaces que requieren coordinación y fiscalización. |
| IH: Integralidad de hábitat | Rúbrica 1–10 | Representa contribución articulada a vivienda, servicios, movilidad, espacio público y equipamiento. |
| RE: Riesgo de ejecución | Rúbrica 1–10 | Integra condiciones técnicas, logísticas y de madurez contractual que pueden dificultar la ejecución. |

*Nota.* Elaboración propia.

Para Río Amarillo se estimaron 298 personas mediante 92 viviendas × 3,24 personas por hogar, factor atribuido en la documentación del estudio al censo de Cuenca (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2022). Se asumió un hogar por vivienda; la cifra es una aproximación indirecta, no un registro oficial de beneficiarios. La matriz de calificaciones se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Matriz de calificaciones*

| Proyecto | Financiera | Plazo | Cobertura | Complejidad | Integralidad | Riesgo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 17 800 934,40 | 540 | 306 309 | 9 | 7 | 8 |
| P2 | 1 713 551,86 | 270 | 32 372 | 4 | 4 | 4 |
| P3 | 1 195 767,29 | 365 | 2 100 | 7 | 8 | 6 |
| P4 | 1 466 115,83 | 540 | 1 635 | 7 | 6 | 6 |

| Proyecto | Financiera | Plazo | Cobertura | Complejidad | Integralidad | Riesgo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P5 | 6 680 220,98 | 540 | 298 | 10 | 10 | 7 |

*Nota.* La cobertura social de P5 corresponde a una estimación indirecta: 92 viviendas × 3,24 personas por hogar = 298,08 personas, redondeadas a 298. Este valor no representa un número oficial de beneficiarios del proyecto. Las cifras de cobertura deben interpretarse según su fuente y ámbito poblacional de referencia. Elaboración propia.

## 2.3. Ponderación, ordenación y evaluación

El autor desarrolló en Python Análisis Multicriterio PRO como aplicación demostrativa, con archivos JSON y reportes Excel. Las comparaciones pareadas del investigador generaron los pesos AHP presentados en la Tabla 5. La complejidad técnica concentró la mayor ponderación relativa (33,27 %), seguida de forma equitativa por la exposición financiera (19,47 %) y el riesgo de ejecución (19,47 %). La cobertura social y la integralidad de hábitat recibieron un 10,72 % cada una, mientras que el plazo de ejecución obtuvo la menor prioridad relativa (6,36 %). La matriz presentó una razón de consistencia de CR = 0,0059, verificando la coherencia lógica interna de los juicios (Saaty & Vargas, 2012).

Se aplicaron suma ponderada con normalización min–máx y TOPSIS con normalización vectorial (Hwang & Yoon, 1981). Se compararon los rankings y se examinaron 30 escenarios de variación de ponderaciones: −20 %, −10 %, 0 %, +10 % y +20 % por criterio, reajustando proporcionalmente los restantes (Tabla 6; Apéndice B). Estas comprobaciones no equivalen a validación externa; se requieren cálculos independientes, nuevas carteras y evaluación institucional.

**Tabla 5**

*Matriz AHP de comparaciones pareadas*

| Criterio | EF | PE | CS | CT | IH | RE | Peso AHP % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EF | **1** | 3 | 2 | 1/2 | 2 | 1 | 19,47 |
| PE | 1/3 | **1** | 1/2 | 1/4 | 1/2 | 1/3 | 6,36 |
| CS | 1/2 | 2 | **1** | 1/3 | 1 | 1/2 | 10,72 |
| CT | 2 | 4 | 3 | **1** | 3 | 2 | 33,27 |
| IH | 1/2 | 2 | 1 | 1/3 | **1** | 1/2 | 10,72 |
| RE | 1 | 3 | 2 | 1/2 | 2 | **1** | 19,47 |
| **TOTAL** | - | - | - | - | - | - | **100** |

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 6**

*Síntesis del procedimiento integrado AHP–TOPSIS*

| Etapa | Operación realizada | Producto |
|---|---|---|
| AHP | Comparaciones pareadas de los seis criterios y verificación de consistencia | Pesos |
| Matriz ponderada | Normalización min–max y suma ponderada de calificaciones | Puntaje global de prioridad |
| TOPSIS | Normalización vectorial, ponderación, solución ideal y distancias | Coeficiente de cercanía |
| Sensibilidad | Variación de pesos y reajuste proporcional de los restantes | Estabilidad del ranking |

*Nota.* Elaboración propia.

### 2.4. Consideraciones éticas

Se utilizó información pública y documental, sin intervención sobre personas. El ranking tiene un alcance preventivo y no sancionatorio: no constituye auditoría, fiscalización, peritaje ni prueba de incumplimiento.

## 3. Resultados

Los cinco proyectos cumplieron los requisitos mínimos de elegibilidad documental y fueron incluidos en el análisis. Este cumplimiento permitió construir la matriz de evaluación, pero no implicó disponer de registros completos y actualizados de avance físico y financiero.

La matriz AHP presentó un valor propio principal de $\lambda max=6,0369$, un índice de consistencia de CI=0,0074 y una razón de consistencia de CR=0,0059, inferior al umbral de 0,10. Estos valores indican coherencia interna de las comparaciones pareadas realizadas por el investigador, no consenso entre especialistas ni aprobación institucional de las ponderaciones.

### 3.1. Priorización de proyectos

La suma ponderada y TOPSIS coincidieron en las dos primeras posiciones y en la última (Figura 1; Tablas 7 y 8). La Primavera obtuvo la mayor prioridad, con un puntaje ponderado de 8,9089 y un coeficiente TOPSIS de 0,8925. Río Amarillo ocupó el segundo lugar, con valores de 7,1343 y 0,4760, respectivamente. El mejoramiento vial de Machala registró la menor prioridad relativa, con 0,1733 y 0,0505.

La posición de La Primavera se relacionó con su mayor exposición financiera y cobertura poblacional dentro de la cartera, un plazo contractual de 540 días y calificaciones elevadas de complejidad técnica y riesgo de ejecución. Río Amarillo presentó las puntuaciones máximas de complejidad técnica e integralidad de hábitat, asociadas con la articulación de vivienda, redes,

infraestructura interna y equipamiento comunitario. Su cobertura de 298 personas corresponde a la estimación indirecta descrita en la metodología.

**Tabla 7**

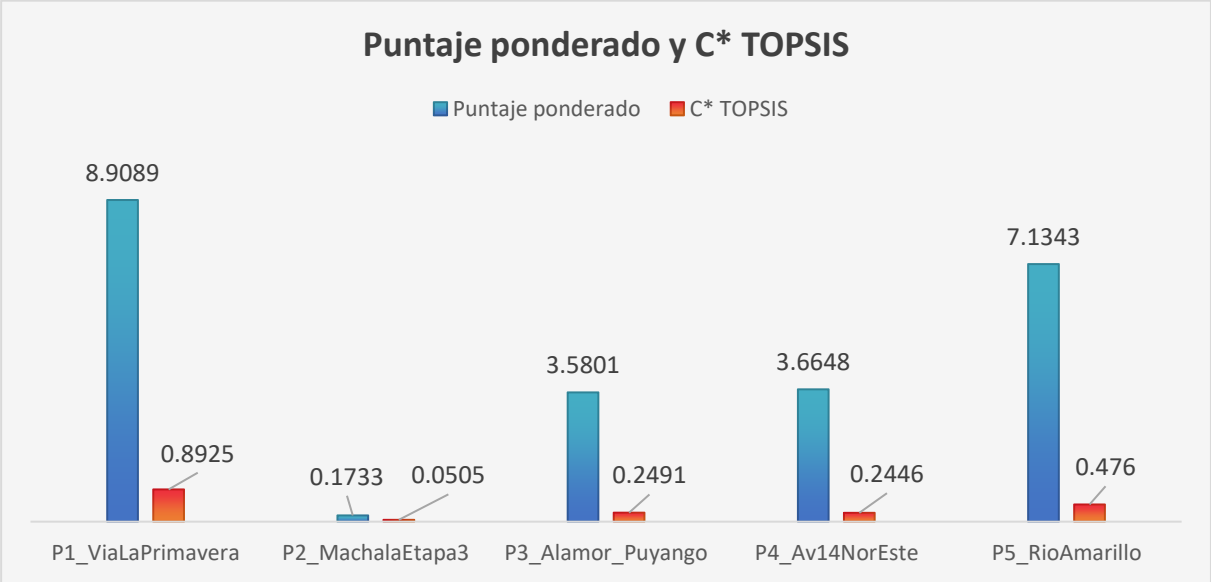
*Puntaje ponderado para cada proyecto*

| Posición | Proyecto | Puntaje ponderado |
|---|---|---|
| 1 | P1 – Vía La Primavera | 8,9089 |
| 2 | P5 – Proyecto habitacional Río Amarillo | 7,1343 |
| 3 | P4 – Regeneración Av. 14ava Nor-Este | 3,6648 |
| 4 | P3 – Pavimentación y redes de Alamor | 3,5801 |
| 5 | P2 – Fresado y recapeo, etapa 3 | 0,1733 |

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 1**

*Puntaje ponderado y C* TOPSIS, obtenido con el software Análisis Multicriterio PRO*




*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 8**

*Resultado TOPSIS*

| Posición | Proyecto | D+ | D− | C∗ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | P1 – Vía La Primavera | 0,0277 | 0,2298 | 0,8925 |
| 2 | P5 – Proyecto habitacional Río Amarillo | 0,1560 | 0,1417 | 0,4760 |
| 3 | P3 – Pavimentación y redes de Alamor | 0,2099 | 0,0696 | 0,2491 |
| 4 | P4 – Regeneración Av. 14ava Nor-Este | 0,2088 | 0,0676 | 0,2446 |
| 5 | P2 – Fresado y recapeo, etapa 3 | 0,2326 | 0,0124 | 0,0505 |

*Nota.* Elaboración propia.

La diferencia entre los métodos se concentró en las posiciones intermedias. La suma ponderada situó a la avenida 14ava Nor-Este en tercer lugar, con 3,6648, y a Alamor–Puyango en cuarto, con 3,5801. TOPSIS invirtió este orden: Alamor–Puyango obtuvo un coeficiente de 0,2491 y la avenida 14ava Nor-Este, de 0,2446. Ambos proyectos compartieron las calificaciones de complejidad técnica y riesgo, mientras Alamor presentó mayor integralidad de hábitat y la avenida un plazo contractual más prolongado.

El mejoramiento vial de Machala obtuvo las menores calificaciones cualitativas y el plazo más corto de la cartera. Aunque su cobertura poblacional superó la de varios proyectos, esta característica no compensó las diferencias en los demás criterios bajo las ponderaciones utilizadas.

### 3.2. Concordancia y sensibilidad

Los métodos coincidieron en tres de las cinco posiciones; únicamente intercambiaron el orden de Alamor–Puyango y la avenida 14ava Nor-Este. En los 30 escenarios de sensibilidad examinados, La Primavera permaneció en primer lugar, lo que evidencia estabilidad de esa posición frente a las variaciones de ponderación consideradas. Esta comprobación no evalúa la incertidumbre de los datos ni de las calificaciones cualitativas.

El ranking expresa necesidades relativas de atención auditora bajo los supuestos del modelo. Un coeficiente TOPSIS elevado no representa una probabilidad de irregularidades ni acredita incumplimientos; una posición inferior tampoco demuestra ausencia de riesgos o exime de los controles correspondientes.

## 4. Discusión

Los resultados muestran que AHP–TOPSIS permite estructurar una priorización relativa de auditorías mediante criterios explícitos, sin reducir la comparación al monto contractual.

La coincidencia de la suma ponderada y TOPSIS en las primeras posiciones, junto con la permanencia de La Primavera como primera alternativa en los escenarios de sensibilidad, respalda la estabilidad de ese resultado bajo los supuestos examinados. No obstante, la concordancia entre métodos que utilizan los mismos datos y ponderaciones no constituye una validación independiente.

### 4.1. Comparación con investigaciones previas

Taylan et al. (2014) aplicaron AHP y TOPSIS difusos para seleccionar proyectos de construcción y evaluar riesgos. La presente investigación comparte la integración de atributos heterogéneos, pero modifica el propósito de la decisión: ordena contratos adjudicados según su necesidad relativa de atención auditora, no según su conveniencia de inversión. La contribución reside, por tanto, en la adaptación del procedimiento y su implementación documental y computacional, no en la creación de una nueva combinación metodológica.

Fallahpour et al. (2020) desarrollaron un sistema de selección sostenible mediante programación de preferencias e inferencia difusas. Aunque ambos estudios incorporan múltiples dimensiones, aquí la cobertura social y la integralidad de hábitat contribuyen a la priorización de control; no constituyen una evaluación integral de sostenibilidad. Por su parte, Ebrahimnejad et al. (2012) utilizaron un enfoque grupal de selección de proyectos. Esta diferencia señala una oportunidad de mejora: contrastar las ponderaciones individuales del presente estudio con preferencias de especialistas en auditoría, ingeniería y contratación pública.

### 4.2. Interpretación y potencial institucional

La prioridad de La Primavera refleja la combinación de exposición financiera, cobertura poblacional, duración y calificaciones técnicas y de riesgo. Río Amarillo destaca por su complejidad e integralidad funcional. Estos perfiles permiten fundamentar una atención preferente dentro de la cartera, pero no demuestran deficiencias de ejecución. La alternancia de Alamor–Puyango y la avenida 14ava Nor-Este evidencia que su orden depende de la regla de agregación y aconseja evitar interpretaciones categóricas de posiciones próximas.

En el contexto ecuatoriano, el modelo podría apoyar la programación de auditorías mediante decisiones documentadas y actualizables, complementando la identificación y valoración de riesgos. No reemplaza las responsabilidades del administrador y fiscalizador ni determina automáticamente el alcance de las acciones de control (CGE, 2023, normas 300-01 a 300-04, 408-17 y 408-18). Su utilidad institucional deberá evaluarse con información actualizada y decisiones reales de programación.

### 4.3. Limitaciones

La selección intencional de cinco casos restringe la generalización del ranking. La exigencia de documentación accesible puede favorecer proyectos con mayor disponibilidad de información

y dejar fuera contratos cuya necesidad de control no pueda caracterizarse con las fuentes públicas consultadas.

La falta de registros homogéneos y actualizados de avance físico y financiero limita la valoración de la ejecución. En particular, la ausencia de planillas o de una fecha de inicio verificable puede reflejar incertidumbre documental y no necesariamente retrasos o incumplimientos. Asimismo, las cifras de cobertura pueden representar ámbitos poblacionales diferentes; la estimación de Río Amarillo depende de supuestos de ocupación y de un promedio censal.

Finalmente, las ponderaciones y calificaciones cualitativas incorporan juicios individuales. La consistencia AHP no elimina esa subjetividad y la sensibilidad de pesos no representa la incertidumbre de los datos. La aplicación demostrativa requiere verificación computacional independiente, evaluación con otros especialistas y nuevas carteras antes de considerar su adopción institucional.

## 5. Conclusiones

La aplicación del modelo integrado AHP–TOPSIS mediante Análisis Multicriterio PRO permitió establecer prioridades relativas de auditoría entre cinco proyectos públicos de infraestructura urbana y habitabilidad del sur del Ecuador. Las comparaciones pareadas presentaron coherencia interna, con una razón de consistencia de 0,0059. La Primavera obtuvo la primera posición mediante suma ponderada y TOPSIS y la mantuvo en los 30 escenarios de sensibilidad examinados. Río Amarillo ocupó el segundo lugar, Alamor–Puyango y la avenida 14ava Nor-Este intercambiaron las posiciones intermedias, y el mejoramiento vial de Machala registró la menor prioridad relativa.

Bajo los datos y preferencias adoptados, la priorización respondió a la interacción de exposición financiera, plazo, cobertura social, complejidad técnica, integralidad de hábitat y riesgo de ejecución, no únicamente al monto contractual. La coincidencia entre métodos respalda la estabilidad de las posiciones extremas dentro de la configuración analizada, mientras que la variación intermedia muestra la influencia de la regla de agregación.

La contribución del estudio consiste en adaptar herramientas multicriterio existentes a la priorización de atención auditora sobre contratos adjudicados, articulando requisitos de elegibilidad documental, criterios operativos, rúbricas cualitativas y cálculos reproducibles. El artefacto desarrollado permite documentar esta aplicación, pero su alcance es demostrativo: no constituye una herramienta institucionalmente validada ni acredita mejoras en la eficacia del control.

Los resultados están condicionados por una selección intencional de cinco casos, ponderaciones y calificaciones individuales, disponibilidad desigual de información de ejecución y estimaciones indirectas de cobertura social. La consistencia AHP no elimina la subjetividad y el análisis de sensibilidad no evalúa la incertidumbre de los datos. Una mayor prioridad no demuestra irregularidades, incumplimientos o deficiencias; una posición inferior tampoco acredita ausencia de riesgos. La transferibilidad corresponde al procedimiento, previa revisión de sus condiciones de aplicación, no al ranking obtenido.

La metodología presenta potencial para apoyar el control preventivo y la gestión pública basada en riesgos mediante prioridades explícitas, trazables y actualizables, sin sustituir las responsabilidades contractuales ni las decisiones de las autoridades competentes. Su eventual adopción requerirá verificar independientemente los cálculos del software, incorporar evaluadores multidisciplinarios, aplicar el modelo a otras carteras e integrar información actualizada de avance físico y financiero. El contraste con procesos reales de programación de auditorías permitirá determinar su utilidad y delimitar sus condiciones de uso institucional.

## Referencias bibliográficas

Banihashemi, S. A., Khalilzadeh, M., Antucheviciene, J., & Šaparauskas, J. (2021). Trading off time–cost–quality in construction project scheduling problems with fuzzy SWARA–TOPSIS approach. *Buildings, 11*(9), Article 387. https://doi.org/10.3390/buildings11090387

Contraloría General del Estado. (2023). Acuerdo No. 004-CG-2023: *Normas de Control Interno para las Entidades, Organismos del Sector Público y de las Personas Jurídicas de Derecho Privado que dispongan de recursos públicos.*

Ding, G., & Langston, C. (2004). Multiple criteria sustainability modelling: Case study on school buildings. *International Journal of Construction Management, 4*(2), 13–26. https://doi.org/10.1080/15623599.2004.10773057

Ebrahimnejad, S., Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H., & Vahdani, B. (2012). A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in a fuzzy environment. *Applied Mathematical Modelling*, *36*(9), 4197–4217. https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.11.050

Fallahpour, A., Wong, K. Y., Rajoo, S., Olugu, E. U., Nilashi, M., & Turskis, Z. (2020). A fuzzy decision support system for sustainable construction project selection: An integrated FPP-FIS model. *Journal of Civil Engineering and Management, 26*(3), 247–258. https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12183

Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications—A state-of-the-art survey.* Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). VIII Censo de Población y VII de Vivienda 2022: Resultados nacionales y provinciales. https://www.censoecuador.gob.ec

Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems, 24*(3), 45–77. https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302

Plebankiewicz, E., Zima, K., & Wieczorek, D. (2021). Modelling of time, cost and risk of construction with using fuzzy logic. *Journal of Civil Engineering and Management, 27*(6), 412–426. https://doi.org/10.3846/jcem.2021.15255

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process (2nd ed.).* Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6

Servicio Nacional de Contratación Pública. (2024). *Pavimentación de varias calles de la ciudad de Alamor con hormigón rígido y adoquín vehicular; construcción de bordillos, muros de contención y reposición de redes de alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial y agua potable en los barrios Los Rebeldes, Nuevo Amanecer y Divino Niño del cantón Puyango, provincia de Loja* [Proceso de licitación LICO-GADM-PUYANGO-2024-002-2795]. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=XmmLOArzxDPAzXb6Xsvh705EZaETqdz1n2UsPDK-clU

Servicio Nacional de Contratación Pública. (2025a). *Ampliación y regeneración de la vía La Primavera desde el Monumento Aguador hasta la intersección con la vía El Cambio–La Iberia, cantón Machala, provincia de El Oro* [Proceso de licitación LICO-GADPEO-2025-02-17250]. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=cT9vHZlcTMwoE3Xowl0Set2Y1ELhAUGVgF3zRMg8FMw

Servicio Nacional de Contratación Pública. (2025b). *Construcción de 92 viviendas, sala comunal y obras de infraestructura correspondientes al proyecto habitacional Río Amarillo, ubicado en la parroquia Sayausí, cantón Cuenca, provincia del Azuay* [Proceso de licitación LICO-EMUVIEP-2025-00012]. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=uNJkh9CI4sdgnMiwwIvSLeUJi5_PkYbGRgk_oaTLQP4

Servicio Nacional de Contratación Pública. (2025c). *Fresado, recapeo y mejoramiento vial etapa 3 del cuadrante comprendido entre Circunvalación Norte, calle Sucre, Juan Montalvo y calle Las Palmeras, Machala* [Proceso de licitación LICO-GADMM-2025-02-28990]. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=KJyk1YOFzFsJhHYKG3HpPAW2RKg4CJI7mLiFkvSDYYA

Servicio Nacional de Contratación Pública. (2026a). *Contrataciones abiertas Ecuador: Datos abiertos bajo el estándar OCDS*. https://datosabiertos.compraspublicas.gob.ec/

Servicio Nacional de Contratación Pública. (2026b). *Regeneración urbana de la avenida 14ava Nor-Este desde la avenida 25 de Junio hasta la avenida Ferroviaria, parroquia La Providencia, cantón Machala* [Proceso de licitación LICO-GADMM-2026-07-28990]. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=3J7iXpj-hrDyJwowpY8Jb0ZUjmyc0tLt7iQHjiXlJ9w

Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M. S., & Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing, 17*, 105–116. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003

Tsai, W.-H., Lin, S.-J., Lee, Y.-F., Chang, Y.-C., & Hsu, J.-L. (2013). Construction method selection for green building projects to improve environmental sustainability by using an MCDM approach. *Journal of Environmental Planning and Management, 56*(10), 1487–1510. https://doi.org/10.1080/09640568.2012.731385

# Apéndice A. Rúbricas de calificación cualitativa con ejemplos de aplicación en la cartera de proyectos analizada

| Criterio | Nivel (rango) | Descripción técnica | Aplicación en la cartera: puntuación y fundamento documental |
|---|---|---|---|
| Complejidad técnica | Bajo (1-4) | Un solo sistema constructivo dominante, sin interfaces técnicas relevantes | P2: fresado y recapeo asfáltico (calificación 4) |
| Complejidad técnica | Medio (5-7) | Dos o tres sistemas técnicos que requieren coordinación (vialidad, drenaje, redes) | P3 y P4: pavimentación con redes hidrosanitarias o regeneración urbana (calificación 7) |
| Complejidad técnica | Alto (8-10) | Múltiples sistemas integrados: vialidad, estructuras, redes, señalización y componente ambiental | P1: ampliación vial de 10,25 km con parterre, drenaje y componente ambiental (calificación 9); P5: vivienda con estructura, redes e instalaciones (calificación 10) |
| Integralidad de hábitat | Bajo (1-4) | Intervención de movilidad o mantenimiento sin efecto directo sobre servicios básicos o vivienda | P2: mejoramiento vial sin componente de redes (calificación 4) |
| Integralidad de hábitat | Medio (5-7) | Regeneración urbana con accesibilidad, espacio público o redes parciales | P1 y P4: regeneración con aceras, ciclovías o redes eléctricas y de telecomunicaciones (calificaciones 7 y 6) |
| Integralidad de hábitat | Alto (8-10) | Vivienda, agua potable, saneamiento y equipamiento comunitario de forma integrada | P3: redes de agua, alcantarillado y pavimento (calificación 8); P5: vivienda, redes y casa comunal (calificación 10) |
| Riesgo de ejecución | Bajo (1-4) | Contrato suscrito con anticipo entregado y sin fase precontractual pendiente | P2: contrato suscrito con anticipo del 35 % (calificación 4) |
| Riesgo de ejecución | Medio (5-7) | Contrato reciente en fase de inicio, con garantías vigentes pero sin avance físico documentado | P3 y P4: contratos suscritos, sin planillas de avance reportadas (calificación 6); P5: contrato suscrito para 92 soluciones habitacionales e infraestructura comunitaria, con garantías contractuales vigentes pero en etapa inicial sin planillas de avance físico liquidadas, donde la simultaneidad de frentes de urbanización y edificación eleva la incertidumbre de arranque (calificación 7) |
| Riesgo de ejecución | Alto (8-10) | Proyecto en fase de suscripción o adjudicación, sin fecha de inicio ni avance verificable | P1: certificaciones presupuestarias emitidas en abril de 2025, sin fecha de inicio confirmada (calificación 8) |

*Nota.* Las referencias a ausencia de avance documentado o de fecha de inicio confirmada describen la información disponible en los expedientes consultados para el estudio; no acreditan ausencia de ejecución, retrasos ni incumplimientos contractuales. Las calificaciones de riesgo deben interpretarse dentro de esta limitación documental. Elaboración propia.

# Apéndice B. Formulación matemática y procedimiento de cálculo del modelo integrado AHP–TOPSIS

| Componente y finalidad | Expresión resumida | Finalidad |
|---|---|---|
| **AHP:** Establecer la importancia relativa de los seis criterios de seguimiento mediante comparaciones pareadas realizadas por el investigador. AHP transforma preferencias individuales explícitas —por ejemplo, considerar la complejidad técnica más relevante que el plazo— en pesos numéricos y verifica la coherencia interna de los juicios. | **Matriz de comparaciones:** $A = [a_{ij}]$, donde $a_{ij}$ expresa la importancia relativa del criterio i frente al criterio j.<br>**Pesos:** $Aw=\lambda_{max}w$.<br>**Consistencia:** $$CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$$ $$CR=\frac{CI}{RI}$$ | Define los pesos de los criterios. Para detalles conceptuales y matemáticos, véase Saaty y Vargas (2012). |
| **Suma ponderada:** normaliza los datos y calificaciones de los proyectos y los agrega según las ponderaciones AHP para obtener un puntaje de prioridad relativa. | **Normalización min–máx para criterios de beneficio:** $$r_{ij}=\frac{x_{ij}-min(x_j)}{max(x_j)-min(x_j)}$$ **Puntaje global:** $$S_i=\sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}$$ | Produce un puntaje global de prioridad relativa de seguimiento. Para aplicaciones de agregación multicriterio en construcción, véanse Ding y Langston (2004) y Tsai et al. (2013). |
| **TOPSIS:** ordena los proyectos según su cercanía al perfil de máxima prioridad auditora y su distancia respecto del perfil de mínima prioridad, mediante normalización vectorial, ponderación y distancias euclidianas | **Normalización vectorial:** $$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x_{ij})^2}}$$ **Matriz ponderada:** $$V_{ij}=w_j r_{ij}$$ **Distancias:** $$D_i^{+}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij}-V_j^{+})^2}$$ $$D_i^{-}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij}-V_j^{-})^2}$$ **Cercanía:** $$C_i^{*}=\frac{D_i^{-}}{D_i^{+}+D_i^{-}}$$ | Genera el coeficiente de cercanía $C^*$, entre 0 y 1. Para el método original, véase Hwang y Yoon (1981); para aplicaciones AHP–TOPSIS en construcción, Taylan et al. (2014). |
| **Sensibilidad:** Examinar si el ranking depende excesivamente de las ponderaciones definidas por el investigador. Se modifica un peso por vez y se ajustan proporcionalmente los demás para conservar el total de 100 %. | **Variación del criterio j:** $$w_j^{(s)}=w_j(1+\delta_s)$$ Donde $\delta_s$ corresponde a la variación aplicada: −20 %, −10 %, 0 %, +10 %, +20 %<br>**Para los pesos restantes:** $$\sum_{j=1}^{n} w_j^{(s)} = 1$$ | Evalúa la estabilidad de la priorización. Para la relevancia de analizar compensaciones entre tiempo, costo y riesgo, véanse Banihashemi et al. (2021) y Plebankiewicz et al. (2021). |

*Nota.* Elaboración propia.

CAPÍTULO 14

# Caracterización morfológica automatizada de gránulos de almidón de yuca mediante procesamiento digital de imágenes SEM y herramientas de código abierto

*Automated morphological characterization of cassava starch granules through digital SEM image processing and open-source tools*

**1 Edisson Fernando Calderón Freire**
*Máster Universitario en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales*
Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales, España
edcalfr@upv.edu.es
https://orcid.org/0000-0002-3955-8162

**2 Cristian David Redroban Dillon**
*Magíster en Ingeniería Automotriz, mención en Autotrónica y Nuevas Tecnologías de Propulsión*
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Grupo de investigación INVELECTRO, Ecuador
david.redroban@espoch.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-3543-9390

**3 José Enrique Crespo Amorós**
*Doctor*
Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales, España
jocream@dimm.upv.es
https://orcid.org/0000-0003-1372-4289

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_14 RECIBIDO 02/09/2026 | ACEPTADO 13/10/2026

## RESUMEN

El desarrollo de espumas biodegradables a partir de almidón de yuca mediante extrusión reactiva representó el contexto de aplicación de esta investigación, en la que se consideró la caracterización morfológica del material de partida como una etapa preliminar para su posterior procesamiento. El estudio tuvo como objetivo caracterizar la distribución de tamaños de gránulos de tres muestras comerciales de almidón de yuca mediante un procedimiento automatizado de análisis de imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM). Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo y exploratorio, basado en el procesamiento de 42 micrografías SEM correspondientes a las muestras A1, B1 y C1, seleccionadas por su disponibilidad comercial. Se implementó un flujo de trabajo en Python, dentro del entorno Google Colab, que integró preprocesamiento de imágenes, segmentación mediante watershed, extracción de parámetros morfométricos y análisis estadístico. Se identificaron 3460 objetos segmentados, distribuidos en 2187, 868 y 405 para A1, B1 y C1, respectivamente. Los diámetros equivalentes medios fueron de 6,99 ± 7,44 µm, 7,09 ± 10,01 µm y 9,33 ± 14,30 µm. Se observaron diferencias descriptivas en la dispersión y distribución de tamaños; sin embargo, la comparación exploratoria mediante Kruskal–Wallis, aplicada a las medianas por micrografía, no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las muestras (p = 0,879). Se realizó una caracterización complementaria mediante ImageJ sobre 120 gránulos seleccionados, como referencia morfométrica independiente. Se concluyó que el

procedimiento permitió obtener indicadores descriptivos de la morfología granular y constituyó una base metodológica para investigaciones posteriores, aunque su interpretación estuvo condicionada por los criterios de segmentación, las condiciones de adquisición de imágenes y las limitaciones del muestreo.

**Palabras clave:** almidón de yuca, extrusión reactiva, caracterización morfológica, procesamiento automatizado de imágenes, espumas biodegradables

**ABSTRACT**

The development of biodegradable foams from cassava starch via reactive extrusion provided the application context for this research, which considered the morphological characterization of the starting material as a preliminary step for subsequent processing. The study aimed to characterize the granule size distribution of three commercial cassava starch samples using an automated image analysis procedure based on scanning electron microscopy (SEM). A quantitative, descriptive, and exploratory study was conducted, processing 42 SEM micrographs corresponding to samples A1, B1, and C1, which were selected based on commercial availability. A Python workflow was implemented within the Google Colab environment, integrating image preprocessing, watershed segmentation, morphometric parameter extraction, and statistical analysis. A total of 3,460 segmented objects were identified, distributed as 2,187, 868, and 405 for samples A1, B1, and C1, respectively. Mean equivalent diameters were 6.99 ± 7.44 µm, 7.09 ± 10.01 µm, and 9.33 ± 14.30 µm. Descriptive differences in size dispersion and distribution were observed; however, an exploratory comparison using the Kruskal–Wallis test—applied to medians per micrograph—revealed no statistically significant differences between the samples ($p = 0.879$). A complementary characterization was performed using ImageJ on 120 selected granules to serve as an independent morphometric reference. It was concluded that the procedure enabled the determination of descriptive indicators regarding granular morphology and established a methodological basis for future research, although its interpretation was influenced by segmentation criteria, image acquisition conditions, and sampling limitations.

**Keywords:** cassava starch, reactive extrusion, morphological characterization, automated image processing, biodegradable foams

## 1. Introducción

El crecimiento del consumo de polímeros sintéticos derivados del petróleo ha generado importantes impactos ambientales asociados a la acumulación de residuos plásticos (Kumari et al., 2023). Estos materiales convencionales, ampliamente utilizados en aplicaciones de embalaje y protección, presentan tiempos de degradación extremadamente largos y contribuyen significativamente a la acumulación de residuos plásticos en el ambiente (Jambeck & Walker-Franklin, 2023). En este contexto, los materiales biodegradables derivados de recursos renovables han sido objeto de creciente investigación, adquiriendo relevancia científica y tecnológica, debido a su potencial para reducir la dependencia de polímeros convencionales, y sustituirlos en diferentes aplicaciones industriales (Amaraweera et al., 2022; C. Chen et al., 2026).

El almidón es un polisacárido natural compuesto principalmente por amilosa y amilopectina (Ai & Jane, 2024), es uno de los biopolímeros más utilizados para la producción de materiales

biodegradables debido a su abundancia, bajo costo y capacidad de procesamiento mediante técnicas termomecánicas (Sirbu et al., 2024). Cuando el almidón es sometido a condiciones adecuadas de temperatura, humedad y esfuerzo mecánico, puede experimentar un proceso conocido como gelatinización, durante el cual su estructura granular se desorganiza y permite la formación de matrices poliméricas capaces de generar materiales con diferentes propiedades físicas (Ai & Jane, 2015).

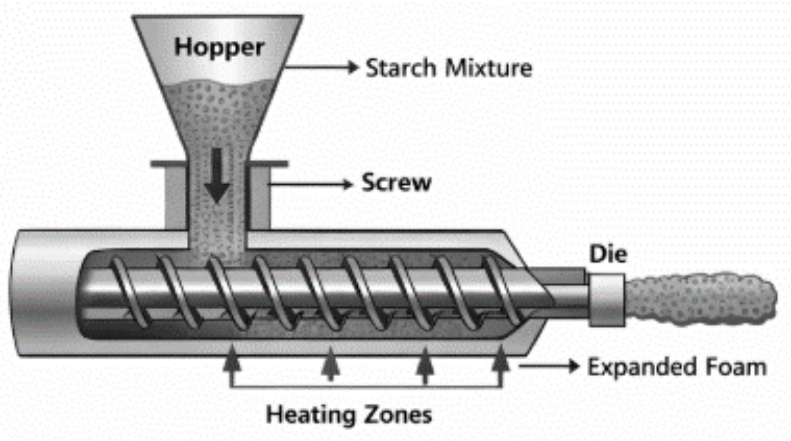
Uno de los métodos más utilizados para transformar el almidón en materiales expandibles es el proceso de extrusión. La extrusión es una técnica de procesamiento continuo ampliamente empleada en la industria de polímeros y alimentos (Chung, 2019), como se muestra en la Figura 1, en la cual el material es transportado mediante un tornillo rotatorio dentro de un cilindro calentado, donde se somete simultáneamente a presión, temperatura y esfuerzo cortante (Hyvärinen et al., 2020).

Durante el proceso de extrusión, el almidón puede transformarse en una estructura expandida generando espumas con propiedades adecuadas para aplicaciones de empaque (Soykeabkaew et al., 2015), estas condiciones favorecen la modificación estructural y permiten la formación de celdas homogéneas extendidas cuando la mezcla fundida sale del dado de extrusión (McCrum et al., 2026).

Diversas investigaciones han demostrado que la producción de espumas biodegradables a base de almidón mediante extrusión depende principalmente de tres factores fundamentales: la composición de la mezcla, el contenido de humedad y los parámetros de procesamiento (Nabar et al., 2005). En particular, la adición de plastificantes es esencial para mejorar la procesabilidad del almidón durante el proceso de extrusión. Entre los plastificantes más utilizados se encuentra el glicerol, un compuesto orgánico que actúa reduciendo las interacciones intermoleculares entre las cadenas poliméricas del almidón, lo que aumenta la flexibilidad del material y facilita su transformación en estructuras espumadas (Nabar et al., 2005).

**Figura 1**

*Esquema del proceso de extrusión*




*Nota.* Elaboración propia.

El agua también desempeña un papel fundamental en el procesamiento del almidón, ya que actúa como plastificante natural, facilita la gelatinización del polímero y se presenta como un agente espumante en la reacción química justo después del dado extrusor (Meng et al., 2019).

Las condiciones de procesamiento también juegan un papel determinante en la formación de la estructura celular del material (Chung, 2019). Parámetros como la temperatura de extrusión, la velocidad de rotación del tornillo y la presión dentro del cilindro influyen directamente en la viscosidad de la mezcla y en la expansión del material al salir del dado (Alexander & Contreras, 2017). Estudios experimentales han demostrado que temperaturas de extrusión comprendidas entre 120 °C y 180 °C favorecen la gelatinización completa del almidón y la formación de estructuras celulares estables (Engel et al., 2019).

No obstante, el proceso de extrusión implica condiciones severas de operación que incluyen temperatura elevada, presión y esfuerzos de corte (Zhuang et al., 2023). Bajo estas condiciones, la presencia de agua, plastificantes y reactivos químicos puede generar interacciones con los materiales metálicos del sistema de extrusión, particularmente en el husillo y el cilindro del equipo (De Smit et al., 2022). Por lo tanto, resulta necesario analizar las formulaciones utilizadas en investigaciones previas sobre espumas de almidón, así como evaluar los posibles efectos de estas mezclas sobre superficies metálicas utilizadas en sistemas de procesamiento y fundamentalmente, la forma de la partícula de almidón, para pronosticar mejores propiedades de la espuma extruida.

Esto implica que la etapa inicial en el desarrollo de este material es la adecuada selección del material base (Figueiró et al., 2024). En conjunto, la literatura científica demuestra que el desarrollo de espumas biodegradables de almidón mediante extrusión requiere un enfoque integral que considere simultáneamente la formulación química del material, los parámetros de procesamiento y la interacción con los componentes del sistema de extrusión.

La caracterización morfológica de los gránulos de almidón permite describir diferencias en su tamaño, forma y distribución (Z. Chen et al., 2025), aspectos relevantes para comparar materias primas de distintas procedencias. Estas características también constituyen variables de interés para investigaciones posteriores sobre gelatinización, modificación química y procesamiento por extrusión, cuyas relaciones deben evaluarse mediante ensayos específicos (Sun et al., 2025).

Los gránulos de almidón presentan una morfología, tamaño y distribución de partículas que varían notablemente según la fuente botánica, constituyendo la huella digital del origen (Li et al., 2023). Esta diversidad es observable mediante técnicas microscópicas. Investigaciones recientes relacionadas con el almidón de papa presenta gránulos de tamaño extremadamente variable (2,7 – 70,7 µm) y forma lenticular, mientras que el de arroz contiene gránulos notablemente más pequeños, generalmente inferiores a 10 µm pero de contorno irregular o poligonal (Guo et al., 2023; Z. Chen et al., 2025).

El almidón presente en cereales del grupo Triticeae, como el trigo y la cebada, presenta dos tamaños claramente diferenciados (distribución bimodal); gránulos tipo A (de mayor tamaño, superando los 10 µm) y gránulos tipo B (más pequeños, con un diámetro igual o menor a 10 µm) (Kim & Huber, 2010). Esta distribución bimodal no solo es una característica morfológica

distintiva, sino que también implica diferencias en la composición química, estructura molecular y propiedades fisicoquímicas entre ambas poblaciones de gránulos. En contraste, el almidón de maíz, trigo sarraceno y yuca presentan una distribución de tamaño más unimodal, con gránulos de formas poligonales o esféricas (Binou et al., 2022).

La yuca (Manihot esculenta) contiene gránulos de almidón que, en términos generales, presentan un tamaño que puede variar, aunque no presentan la bimodalidad característica del trigo. Su morfología es típicamente redondeada o truncada, con una superficie lisa (Barrera et al., 2013). La comprensión de estas características morfológicas de base es esencial, ya que modificaciones posteriores, ya sean de origen mecánico, químico o térmico, alterarán esta estructura superficial, afectando su funcionalidad (Teobaldi et al., 2025).

La integración de herramientas computacionales, particularmente aquellas basadas en el lenguaje de programación Python, ha revolucionado el análisis de micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido (SEM), transformando un proceso tradicionalmente manual y subjetivo en una tarea automatizada, rápida y cuantitativamente robusta (Sozzi et al., 2025).

El análisis manual de imágenes SEM para la determinación del tamaño y la morfología de gránulos de almidón es un proceso que demanda una inversión significativa de tiempo y recursos humanos (Götz et al., 2021). La necesidad de procesar grandes volúmenes de datos, a menudo provenientes de múltiples muestras y condiciones experimentales, convierte a esta tarea en un cuello de botella que limita la productividad investigativa (Rui-Heng et al., 2026). La automatización emerge como la solución idónea para superar estas barreras, ofreciendo una serie de ventajas sustanciales.

Estos métodos se fundamentan en técnicas de procesamiento digital de imágenes, como la segmentación por umbrales, la detección de bordes y la morfología matemática. En este caso, la relevancia de cada etapa del proceso resulta fundamental para el desarrollo de un material adecuado, escalable y reproducible a nivel industrial. Cada paso ejecutado en el proyecto no solo representa oportunidades ambiciosas, sino que determinará consecuencias de gran alcance en la obtención de un material biodegradable diseñado específicamente para reducir el impacto ambiental. En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es caracterizar morfológicamente y cuantificar la distribución de tamaños de gránulos de almidón de yuca, provenientes de diferentes proveedores, mediante análisis automatizado de imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM). El estudio se circunscribe a la evaluación morfológica de las materias primas y constituye una etapa preliminar de investigación orientada al desarrollo de espumas biodegradables.

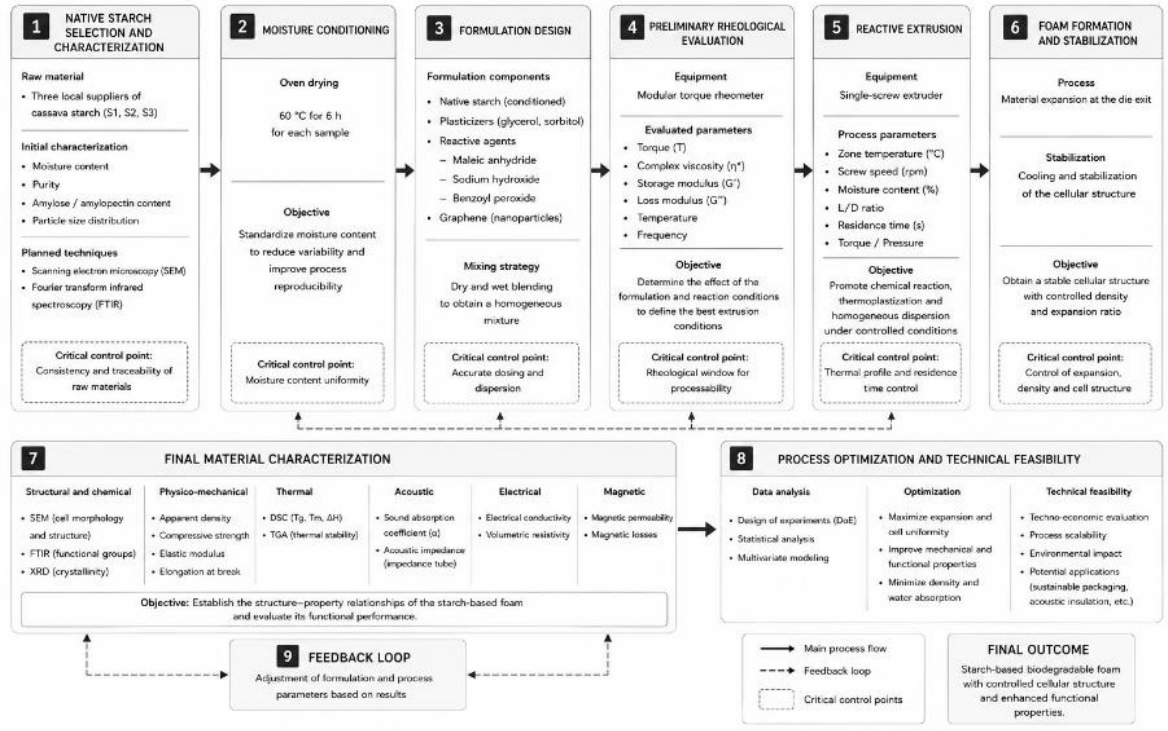
Por tanto, no contempla la modificación química del almidón, su procesamiento mediante extrusión reactiva ni la evaluación experimental de las propiedades de las espumas obtenidas. El uso de plataformas como Google Colab y herramientas de inteligencia artificial facilita el desarrollo y la adaptación de procedimientos de análisis de imágenes, planteando nuevos desafíos de reproducibilidad.

## 2. Métodos

La presente investigación corresponde a una etapa preliminar de caracterización de materias primas, orientada al análisis morfológico de tres muestras comerciales de almidón de yuca. Los resultados obtenidos permiten describir y comparar sus distribuciones de tamaño granular, sin evaluar en esta fase su comportamiento durante la extrusión reactiva ni las propiedades de posibles espumas biodegradables. La Figura 2 presenta el marco metodológico general de este proyecto.

**Figura 2**

*Marco metodológico para la producción y caracterización de espumas biodegradables a base de almidón mediante extrusión reactiva*




*Nota.* Elaboración propia.

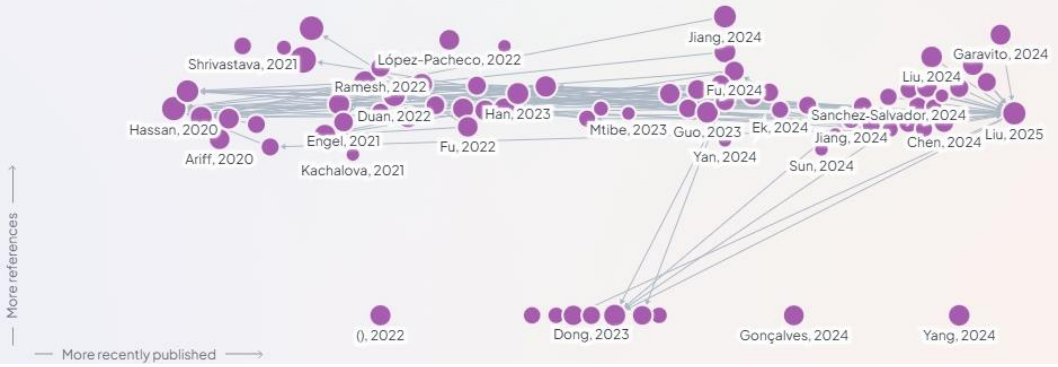
El almidón de yuca constituye una materia prima de interés para el desarrollo de materiales biodegradables debido a su disponibilidad y a las posibilidades de transformación descritas en la literatura. En este estudio se examinan exclusivamente las características morfológicas de sus gránulos, sin evaluar su comportamiento durante la extrusión ni las propiedades de las espumas obtenidas.

Como parte del desarrollo metodológico, se realiza una revisión sistemática del estado del arte empleando herramientas de análisis bibliográfico, entre ellas ResearchRabbit, para identificar las principales conexiones entre investigaciones relacionadas. El mapa bibliográfico obtenido evidencia un consenso en la literatura respecto a que la morfología del gránulo de almidón constituye un factor determinante en las propiedades mecánicas y en la expansión celular de las espumas obtenidas por extrusión, información que se presenta en la Figura 3. Se analizaron los

procedimientos típicos de preparación de muestras, los cuales generalmente incluyen la selección del almidón como matriz principal, la incorporación de plastificantes como glicerol y la adición de agua en proporciones específicas para favorecer la gelatinización del material, lo que implica que una materia prima inadecuada contribuye a errores en el procesamiento posterior.

**Figura 3**

*Red bibliográfica generada con ResearchRabbit que muestra las relaciones entre los estudios sobre la morfología del almidón y su influencia en la producción de espumas biodegradables a base de almidón*




*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 1 muestra el resultado de algunas investigaciones donde se presenta los porcentajes aproximados de los elementos que se requieren para obtener una espuma de almidón por extrusión reactiva. La caracterización morfológica del almidón constituye una etapa fundamental para garantizar la continuidad del proyecto.

**Tabla 1**

*Composición general de mezclas*

| Autor | Almidón (%) | Agua (%) | Glicerol (%) | Otros aditivos | Reactivos utilizados |
|---|---|---|---|---|---|
| Z. Chen et al., 2025 | 70 | 20 | 10 | — | plastificante |
| Figueiró et al., 2024 | 65 | 20 | 15 | fibras naturales | plastificante |
| Engel et al., 2019 | 70 | 15 | 15 | — | plastificante |
| Martin Torrejon et al., 2023 | 60 | 25 | 10 | residuos vegetales | agentes espumantes |
| Meng et al., 2019 | 68 | 20 | 12 | proteínas | plastificante |

*Nota.* Elaboración propia.

La determinación del tamaño, la forma y la distribución de los gránulos proporciona información inicial sobre la morfología de las materias primas. Su posible relación con la gelatinización, el comportamiento durante la extrusión y las propiedades de los materiales obtenidos requiere evaluaciones experimentales adicionales.

Para realizar la caracterización morfológica se utiliza la microscopía electrónica de barrido (SEM) que se ha consolidado como una técnica robusta e indispensable para la caracterización micro y nanoestructural de almidones y harinas. Su capacidad para generar imágenes de alta resolución y gran profundidad de campo permite un análisis detallado de la morfología superficial, la forma, el tamaño, la distribución y las características topográficas de los gránulos.

El protocolo utilizado para la observación por SEM requiere la preparación de la muestra mediante secado a temperaturas inferiores a la gelatinización del almidón, para ello se exponen 3 muestras de almidón cumpliendo el siguiente ciclo de secado (temperatura: 60 °C, tiempo: 6 horas), para preservar su estructura nativa. Posteriormente, las muestras se montan sobre soportes metálicos. La observación se realiza a diferentes magnificaciones, utilizando electrones secundarios para obtener contraste topográfico y electrones retrodispersados para obtener contraste por número atómico. El equipo es un microscopio electrónico de barrido, marca ASPEX, modelo PSEM eXpress, rango de detección 500 nm a 5 mm. No se reportan las condiciones ambientales para los ensayos SEM ya que estos se realizan en una cámara cerrada en una atmósfera de alto vacío.

Finalmente, se estandariza la adquisición de imágenes mediante la obtención de 14 imágenes TIFF (Tagged Image File Format) por cada muestra de almidón. Cada micrografía incluye una barra de escala calibrada para permitir la calibración métrica durante el procesamiento de imágenes. Se selecciona el formato TIFF para preservar la calidad de la imagen y evitar artefactos de compresión, garantizando así un análisis cuantitativo fiable. Se desarrollan algoritmos automatizados de procesamiento de imágenes en Python y se implementan en el entorno de Google Colab para identificar y medir los gránulos de almidón, reduciendo sustancialmente el tiempo de análisis y proporcionando estimaciones robustas de la distribución y dispersión del tamaño de las partículas, lo que mejora la reproducibilidad y la consistencia de la caracterización morfométrica.

El procesamiento digital de las micrografías SEM se desarrolla mediante un flujo de trabajo automatizado implementado en Google Colab utilizando el lenguaje de programación Python y bibliotecas especializadas para el análisis de imágenes.

El procesamiento digital implementado para la caracterización morfométrica de las partículas de almidón observadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) se estructura en varias etapas secuenciales. En primer lugar, cada imagen en formato TIFF es convertida a escala de grises y sometida a una mejora de contraste mediante ecualización adaptativa del histograma (CLAHE), complementada con un filtro bilateral que atenúa el ruido preservando los bordes, lo cual facilita la lectura del texto de la leyenda y de la barra de escala impresas por el equipo.

En segundo lugar, se ejecuta un reconocimiento óptico de caracteres (OCR) sobre la franja superior de la imagen para extraer de forma automática el valor numérico y la unidad de la escala, y mediante la detección del segmento continuo más largo de la barra de referencia se establece la relación de conversión de píxeles a micrómetros, calibrando así cada imagen de forma independiente según su nivel de ampliación. En tercer lugar, la región de interés —una vez excluido el encabezado— es suavizada mediante un filtro gaussiano y segmentada aplicando el método de umbralización de Otsu, complementado con operaciones morfológicas de apertura y cierre para eliminar artefactos y consolidar los contornos de las partículas; posteriormente, se emplea el

algoritmo de segmentación por cuencas hidrográficas (watershed), basado en la transformada de distancia euclidiana, para individualizar aquellas partículas que se encuentran en contacto o parcialmente superpuestas.

Finalmente, sobre cada región segmentada se calculan los descriptores morfométricos —área, diámetro equivalente, longitud de los ejes mayor y menor, y circularidad— expresados en unidades físicas reales gracias a la calibración previa, generando así una base de datos cuantitativa que permite el análisis estadístico comparativo del tamaño de partícula entre las distintas micrografías analizadas.

El estudio comprende el cálculo de medidas descriptivas de tendencia central, dispersión y distribución de los diámetros equivalentes de los gránulos identificados. Adicionalmente, se realiza una comparación exploratoria entre las tres muestras mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis, utilizando como observaciones las medianas de diámetro equivalente obtenidas para cada micrografía (14 imágenes por muestra). Se adopta un nivel de significancia de $\alpha = 0{,}05$. Este enfoque permite considerar la agrupación de las mediciones por imagen y evitar el tratamiento de todos los objetos segmentados como observaciones experimentales independientes.

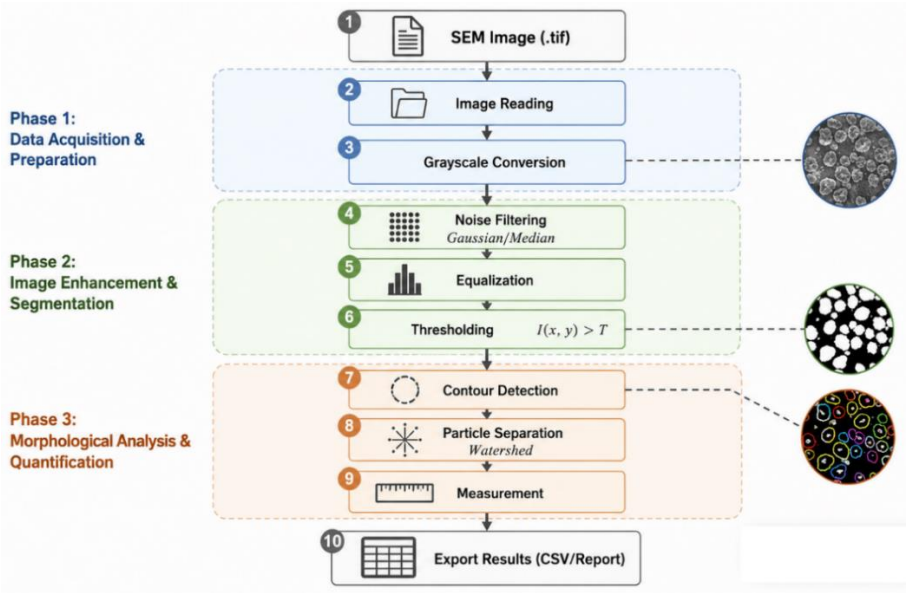
La segmentación se realiza considerando las limitaciones asociadas con la resolución de las imágenes, el contraste entre los gránulos y el fondo, y la presencia de partículas en contacto. Se distingue partículas del fondo mediante un umbral binario automático de Otsu, asumiendo mayor brillo de los gránulos respecto al sustrato, y descarta como ruido toda región con área inferior a 15 píxeles cuadrados tras la limpieza morfológica; la medición asigna a cada partícula individualizada por watershed su diámetro equivalente, ejes mayor y menor, y un índice de circularidad calculado como $4\pi \times \text{área}/\text{perímetro}^2$, permitiendo así clasificar los gránulos según su tamaño y grado de esfericidad para el análisis estadístico posterior.

Como procedimiento complementario de verificación morfométrica, se realiza mediciones manuales mediante el software ImageJ sobre seis micrografías SEM, correspondientes a dos imágenes representativas de cada muestra (A1, B1 y C1). En cada micrografía se selecciona 20 gránulos individualizados, con contornos definidos y morfología relativamente homogénea, obteniendo un total de 120 mediciones. Las imágenes son calibradas individualmente mediante sus respectivas barras de escala y, a partir del área proyectada de cada gránulo, se calcula el diámetro circular equivalente mediante la expresión $d_{eq} = 2 \times \text{sqrt}(A/\text{pi})$ donde (A) corresponde al área expresada en $\mu m^2$. Este procedimiento permite obtener mediciones manuales de referencia para contrastar la plausibilidad dimensional de los resultados del análisis automatizado, considerando que la selección de gránulos homogéneos no representa necesariamente la distribución completa de tamaños de las muestras.

La Figura 4 resume el flujo de procesamiento implementado para la caracterización automática de los gránulos de almidón.

**Figura 4**

*Flujo de trabajo para análisis de imágenes mediante Google Colab*




*Nota.* Elaboración propia.

El algoritmo integra de manera secuencial las etapas de preprocesamiento, segmentación, extracción de características morfométricas y análisis estadístico, permitiendo transformar las micrografías SEM en una base de datos cuantitativa que facilita la determinación de la distribución del tamaño de partícula y otros parámetros morfológicos de interés. Para el análisis se consideran tres muestras comerciales de almidón de yuca, identificadas como A1, B1 y C1. Se analizan 14 micrografías SEM por muestra, obteniendo un conjunto de 42 imágenes. El procesamiento digital permite identificar y medir 2187 objetos en A1, 868 en B1 y 405 en C1, para un total de 3460 objetos segmentados.

Las diferencias en el número de objetos identificados deben ser interpretadas considerando las condiciones de adquisición de las micrografías y las características del procedimiento de segmentación. En consecuencia, estos conteos representan los objetos detectados en las imágenes analizadas y no constituyen, por sí solos, una medida de la concentración de gránulos en las muestras comerciales. La selección de estas muestras de almidón se debe su fácil adquisición, disponibilidad continua y representatividad como materias primas potencialmente utilizables en aplicaciones industriales. Esta selección permite realizar una evaluación comparativa inicial de sus características estructurales y químicas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), estableciendo una base experimental para la identificación de diferencias morfológicas y funcionales entre las muestras.

## 3. Resultados

Las condiciones de adquisición mostradas en la micrografía SEM tienen una influencia directa tanto en la calidad visual de la imagen TIFF como en la precisión de los algoritmos de segmentación

y análisis morfológico desarrollados en Google Colab. En realidad, una adecuada calibración y configuración del microscopio constituye el primer paso del procesamiento automatizado, ya que cualquier error introducido durante la adquisición se propagará posteriormente hacia las mediciones de tamaño de partícula, circularidad, distribución granulométrica y dispersión estadística.

En el caso de los gránulos de almidón de yuca, los parámetros reportados fueron: voltaje de aceleración de 20 kV, carga del filamento de 59,6 %, emisión de corriente de 89,2 µA, presión de vacío de $2{,}6 \times 10^{-3}$ Torr y magnificaciones comprendidas entre 100X y 5000X. Cada uno de estos parámetros cumple una función específica en la obtención de imágenes aptas para el análisis computacional.

La Tabla 2 presenta los parámetros empleados para el procesamiento digital de las micrografías SEM y la posterior caracterización morfológica de los gránulos de almidón. El estudio consideró tres muestras independientes, identificadas como A, B y C. Con el propósito de simplificar la presentación y la discusión de los resultados, las micrografías correspondientes a cada muestra se referencian mediante el identificador genérico “Muestra”, el cual representa cualquiera de las tres muestras analizadas según el contexto de la descripción.

**Tabla 2**

*Datos característicos de imágenes SEM*

| Identificación | Magnifica-ción | Dimensión (píxeles) | Resolución (PPP) | Tipo de archivo | Barra de escala (µm) | Escala calculada (µm/pixel) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muestra_01_displayed.tif | 5000x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 10 | 0,05291 |
| Muestra_02_displayed.tif | 2500x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 10 | 0,4347 |
| Muestra_03_displayed.tif | 1000x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 50 | 0,2645 |
| Muestra_04_displayed.tif | 750x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 100 | 0,3521 |
| Muestra_05_displayed.tif | 500x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 100 | 0,5291 |
| Muestra_06_displayed.tif | 250x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 100 | 4,3478 |
| Muestra_07_displayed.tif | 100x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 500 | 2,6455 |
| Muestra_08_displayed.tif | 5000x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 10 | 0,05291 |
| Muestra_09_displayed.tif | 2500x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 10 | 0,4347 |
| Muestra_10_displayed.tif | 1000x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 50 | 0,2645 |
| Muestra_11_displayed.tif | 750x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 100 | 0,3521 |
| Muestra_12_displayed.tif | 500x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 100 | 0,5291 |
| Muestra_13_displayed.tif | 250x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 100 | 4,3478 |
| Muestra_14_displayed.tif | 100x | 605 x 605 | 146 x 146 | TIF | 500 | 2,6455 |

*Nota.* Elaboración propia.

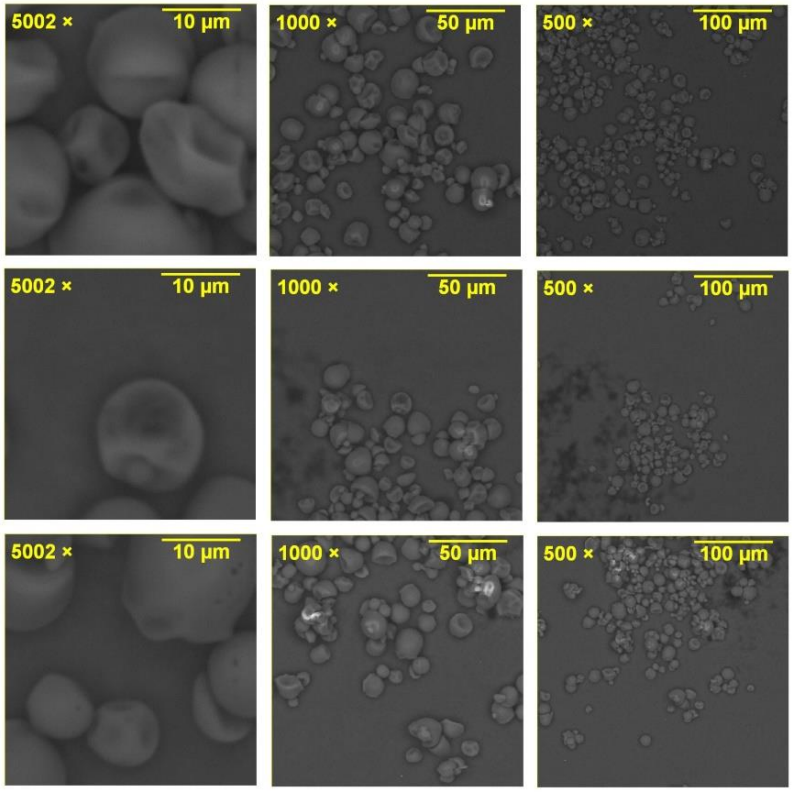
La Figura 5 presenta las micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para las tres muestras de almidón evaluadas (A1, B1 y C1), organizadas por filas para

facilitar su comparación morfológica. Cada fila corresponde a una muestra independiente, mientras que las columnas muestran las imágenes adquiridas a magnificaciones de 5000×, 1000× y 500×, respectivamente.

Esta disposición permite analizar la morfología de los gránulos desde diferentes escalas de observación, proporcionando información tanto de la superficie y forma individual de las partículas como de su distribución espacial y grado de aglomeración. Las micrografías constituyen la base experimental para el posterior procesamiento automatizado mediante algoritmos desarrollados en Google Colab, orientados a la segmentación de partículas y a la determinación de parámetros morfológicos y granulométricos.

**Figura 5**

*Micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de las muestras de almidón de yuca A1, B1 y C1, adquiridas a magnificaciones de 500×, 1000× y 5000× para la evaluación de la morfología y distribución de los gránulos*




*Nota.* Elaboración propia.

Con el propósito de facilitar la interpretación de las micrografías SEM y destacar la información aportada por cada nivel de magnificación, en esta sección se presenta una imagen representativa para cada aumento (500×, 1000× y 5000×), independientemente de la muestra de origen, ya que las características observadas corresponden a la función propia de cada escala de análisis.

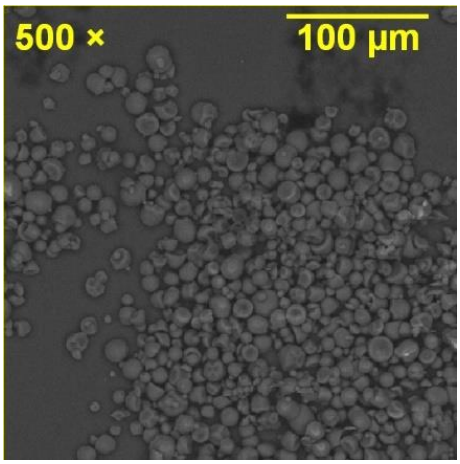
La micrografía adquirida a 500× de la Figura 6 permite evaluar la distribución espacial de los gránulos, su grado de dispersión y la presencia de aglomerados en un área amplia de observación. Esta imagen corresponde a la muestra de almidón tipo A1.

Por su parte, la imagen obtenida a 1000× de la Figura 7 proporciona un equilibrio entre el campo visual y el nivel de detalle, facilitando la identificación de la forma, el tamaño relativo y la homogeneidad morfológica de los gránulos individuales. Esta imagen corresponde a la muestra de almidón tipo B1.

Finalmente, la magnificación de 5000× de la Figura 8 permite examinar con mayor resolución la superficie de las partículas, identificando detalles como irregularidades, depresiones, poros o defectos superficiales que no son apreciables a menores aumentos. Esta imagen corresponde a la muestra de almidón tipo C1.

**Figura 6**

*Micrografía SEM muestra de almidón, magnificación 500x, designación A1_05_displayed.tif (escala: 0,5291 µm/px)*

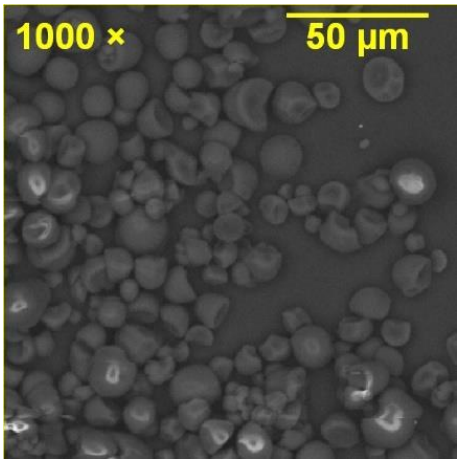



*Nota*. Elaboración propia.

En conjunto, las tres escalas de observación ofrecen una caracterización morfológica complementaria y constituyen la base para el procesamiento digital de imágenes y la extracción automatizada de parámetros granulométricos mediante los algoritmos desarrollados en Google Colab. En el análisis automatizado de imágenes SEM para la determinación del tamaño de gránulos de almidón, se desarrolla un flujo de trabajo en Python que integra bibliotecas especializadas. Se utilizaron os, zipfile y google.colab.files para la gestión y transferencia de archivos; re y pytesseract para la extracción de escalas mediante OCR; mientras que cv2, numpy, skimage (measure, morphology, segmentation y filters), scipy.ndimage y tifffile permiten el preprocesamiento, segmentación avanzada mediante watershed y el análisis morfológico preciso de las partículas.

**Figura 7**

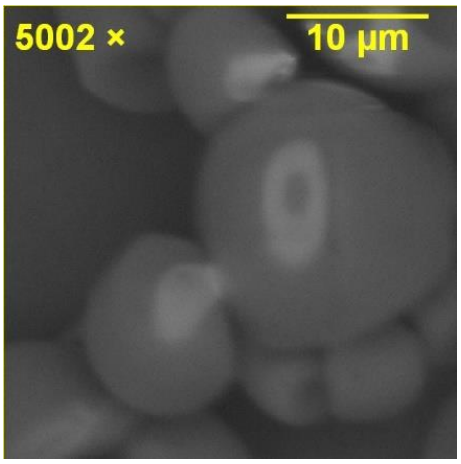
*Micrografía SEM muestra de almidón, magnificación 1000x, designación B1_03_displayed.tif (escala: 0,2645 µm/px)*




*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 8**

*Micrografía SEM muestra de almidón, magnificación 5000x, designación C1_01_displayed.tif (escala: 0,05291 µm/px)*




*Nota.* Elaboración propia.

El procedimiento permite determinar el tamaño equivalente de cada gránulo y generar los correspondientes descriptores estadísticos. En la Tabla 3 se presentan los valores medios obtenidos posteriormente al análisis de la imagen, que son 6,99 ± 7,44; 7,09 ± 10,01 y 9,33 ± 14,30 para las muestras A1, B1 y C1, respectivamente. Con base en la comparación de las medias de las tres poblaciones analizadas, se obtuvo un coeficiente de variación intermuestra de aproximadamente 16,8 %. Asimismo, la similitud observada entre los valores medios de las muestras A1 y B1, junto con la consistencia del rango de tamaños máximos detectados en las tres muestras (≈69 µm), sugiere

que el algoritmo presenta un desempeño estable para la identificación y cuantificación de gránulos en imágenes SEM.

**Tabla 3**

*Valores medios obtenidos*

| Muestra | n | Media (µm) | Std (µm) | CV (%) |
|---|---|---|---|---|
| A1 | 2187 | 6,99 | 7,44 | 106,5 |
| B1 | 868 | 7,09 | 10,01 | 141,1 |
| C1 | 405 | 9,33 | 14,30 | 153,3 |

*Nota.* Elaboración propia.

La dispersión de los diámetros equivalentes puede estar relacionada tanto con la heterogeneidad morfológica de los objetos analizados como con las condiciones de adquisición y procesamiento de las micrografías, particularmente la magnificación, la calibración de escala y los criterios de segmentación. Por ello, no es posible atribuir esta variabilidad exclusivamente a las características intrínsecas de las muestras.

Aunque el procesamiento automatizado de micrografías electrónicas mediante herramientas computacionales ha sido abordado previamente en la caracterización de partículas de almidón, como en el estudio de Sozzi et al. (2025), el aporte particular de esta investigación radica en la aplicación integrada de técnicas de segmentación y análisis morfométrico a tres muestras comerciales de almidón de yuca.

Mediante el procesamiento de 42 micrografías SEM, se obtuvo una base de datos cuantitativa de 3460 objetos segmentados, que permite describir y comparar las distribuciones de diámetro equivalente y la variabilidad morfológica de las muestras A1, B1 y C1. En este sentido, la contribución del estudio no consiste en desarrollar un nuevo algoritmo de segmentación, sino en implementar un procedimiento automatizado y documentado de caracterización morfológica aplicado a esta materia prima, cuyos resultados constituyen una referencia preliminar para investigaciones posteriores sobre su procesamiento y aprovechamiento en materiales biodegradables.

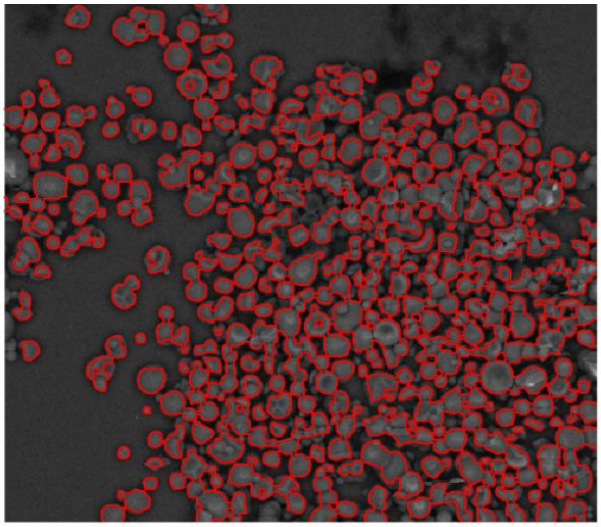
## 4. Discusión

El análisis descriptivo permite identificar diferencias en la amplitud, asimetría y dispersión de las distribuciones de tamaño granular de las muestras A1, B1 y C1. Según los indicadores calculados, A1 presenta la menor polidispersidad relativa, mientras que C1 registra la mayor heterogeneidad. Estas diferencias describen las poblaciones analizadas, pero no permiten establecer por sí solas sus causas ni anticipar el comportamiento tecnológico de cada materia prima. Un ejemplo del procesamiento de imágenes se muestra en la Figura 9, donde se observa el reconocimiento y la delimitación automática realizados por el programa al identificar patrones dentro de las

micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), de la muestra de almidón tipo A1.

**Figura 9**

*Delimitación automática de los gránulos de almidón muestra A1_05_displayed.tiff (escala: 0,5291 µm/px)*



*Nota.* Elaboración propia.

La muestra Tipo A1 presenta una distribución de frecuencias con un pico máximo en el rango de 20-30 µm, con una frecuencia de 80 unidades, lo que indica que la población mayoritaria de gránulos se concentra en este intervalo. Se observa una cola hacia tamaños superiores, con frecuencias decrecientes (30 unidades a 40-50 µm y 16 unidades a 60-70 µm), y una presencia de partículas muy finas (10-20 µm) con frecuencia de 20 unidades. La distribución sugiere una población relativamente homogénea, con un sesgo positivo leve hacia tamaños mayores, típico de almidones con morfología unimodal.

La muestra Tipo B1 presenta un comportamiento marcadamente diferente, con un pico máximo en el rango de 20-30 µm (frecuencia de 33 unidades) y un pico secundario pronunciado en el rango de 40-50 µm (frecuencia de 24 unidades). Este patrón bimodal sugiere la presencia de dos poblaciones granulométricas bien diferenciadas, posiblemente atribuible a la presencia de gránulos de tipo A1 (grandes) y tipo B1 (pequeños), característica de almidones de ciertos cereales como el trigo o la cebada probablemente. La presencia de gránulos en el rango de 10-20 µm (25 unidades) y 30-40 µm (30 unidades) refuerza la naturaleza polimodal de esta muestra.

La muestra Tipo C1 presenta un perfil granulométrico con un pico máximo en el rango de 20-30 µm (frecuencia de 40 unidades), con una distribución más amplia que se extiende desde 10 µm hasta 80 µm. Se observa una meseta entre 20 y 50 µm con frecuencias que oscilan entre 20 y 40 unidades, indicando una distribución más dispersa y menos definida que en las muestras A y B. Esta muestra presenta la mayor proporción de gránulos de tamaño superior a 60 µm (frecuencia de 6 unidades), sugiriendo una población con gránulos de mayor tamaño y mayor variabilidad morfológica.

El análisis automatizado de las micrografías permite caracterizar morfológicamente un total de 3460 gránulos de almidón pertenecientes a tres muestras comerciales de almidón de yuca. Los resultados evidenciaron diferencias en la distribución de tamaños entre proveedores. La muestra A1 presenta un tamaño promedio de 6,99 µm y una mediana de 5,41 µm, mientras que B1 muestra valores similares para la media (7,09 µm) pero una mediana inferior (4,43 µm). Por su parte, la muestra C1 registra la mayor media (9,33 µm), aunque con una mediana de 3,92 µm, indicando la presencia de una mayor proporción de partículas de pequeño tamaño acompañadas por algunos gránulos considerablemente más grandes.

Los elevados coeficientes de variación observados en las tres muestras (106,5; 141,1 y 153,3 % para A1, B1 y C1, respectivamente), son presentados en la Tabla 4, evidencian una marcada heterogeneidad en el tamaño de los gránulos. Esta tendencia se confirma al comparar los percentiles D10 y D90. La muestra A1 presenta una distribución relativamente más homogénea, con un índice de polidispersidad (D90/D10) de 8,49, mientras que B1 y C1 alcanzaron valores de 15,11 y 40,68, respectivamente, indicando un aumento progresivo en la amplitud de la distribución granulométrica.

**Tabla 4**

*Resultados estadísticos, asimetría y heterogeneidad de partículas de almidón*

| Muestra | n | Media (µm) | Mediana (µm) | Std (µm) | CV (%) | D10 (µm) | D90 (µm) | PDI_D90_D10 | asimetría | curtosis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 2187 | 6,9879 | 5,4063 | 7,4448 | 106,5390 | 1,4313 | 12,1463 | 8,4859 | 4,3573 | 27,0754 |
| B1 | 868 | 7,0942 | 4,4348 | 10,0073 | 141,0640 | 0,8352 | 12,6187 | 15,1087 | 3,9362 | 17,9460 |
| C1 | 405 | 9,3284 | 3,9241 | 14,2961 | 153,2535 | 0,7124 | 28,9815 | 40,6794 | 2,5145 | 6,0524 |

*Nota.* Elaboración propia.

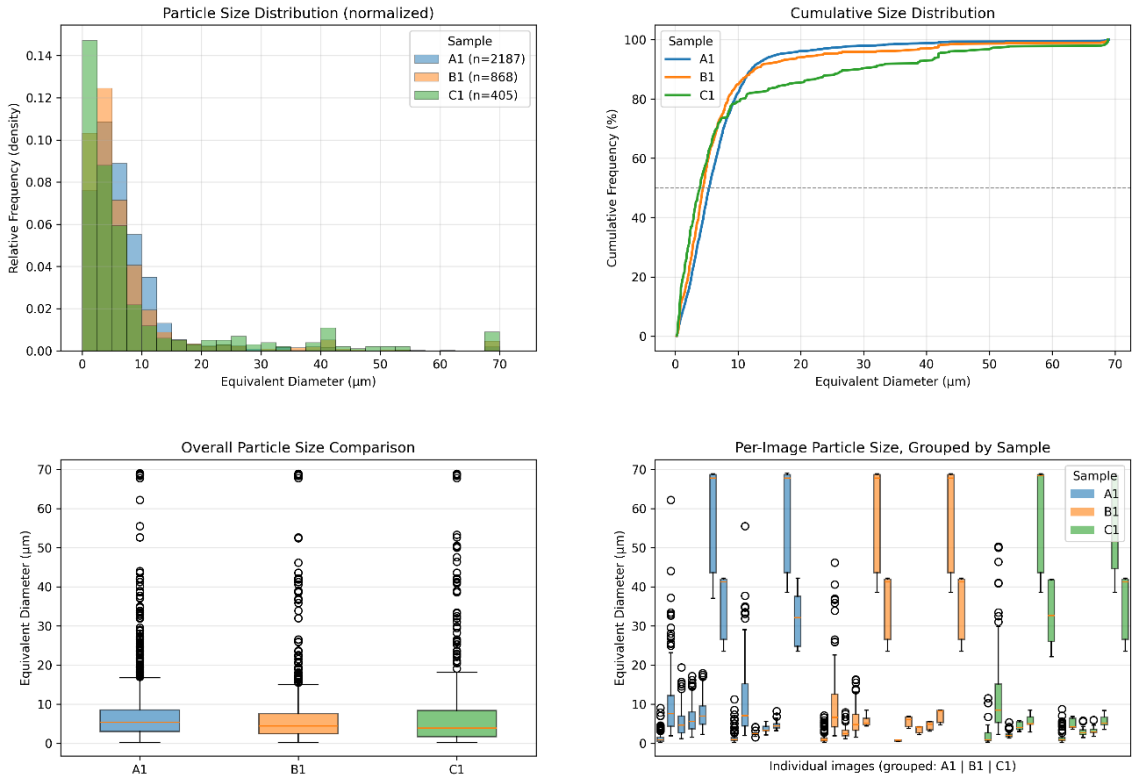
Las tres muestras exhibieron distribuciones asimétricas positivas, con coeficientes de 4,36; 3,94 y 2,51 para A1, B1 y C1, respectivamente, lo que refleja una concentración predominante de gránulos pequeños y una cola extendida hacia tamaños mayores. Asimismo, los elevados valores de curtosis, especialmente en A1 (27,08) y B1 (17,95), sugieren distribuciones leptocúrticas caracterizadas por una alta concentración de observaciones alrededor de los tamaños más frecuentes y la presencia de valores extremos. En contraste, la muestra C1 presenta una curtosis menor (6,05), indicando una distribución más dispersa.

Las muestras A1, B1 y C1 presentaron diferencias descriptivas en sus distribuciones de diámetros equivalentes. Sin embargo, la comparación exploratoria mediante Kruskal–Wallis, aplicada a las medianas obtenidas por micrografía, no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($H = 0,257$; $p = 0,879$). Este resultado debe interpretarse considerando la variabilidad entre campos de observación y las diferentes condiciones de magnificación de las imágenes SEM. En consecuencia, las diferencias observadas se describen como tendencias morfométricas, sin atribuirles significancia estadística ni establecer equivalencia entre las muestras.

La caracterización automatizada constituye, por tanto, una herramienta de comparación inicial de materias primas. Para determinar su utilidad como criterio de selección tecnológica es necesario contrastar los parámetros morfológicos con resultados experimentales de gelatinización, comportamiento reológico, extrusión y caracterización de los materiales obtenidos. El resumen de los datos estadísticos, obtenidos a partir del análisis de la distribución del tamaño de partícula, la frecuencia en cada micrografía y los parámetros de calidad de imagen, se presenta en la Figura 10.

**Figura 10**

*Análisis del tamaño de partícula de los gránulos de almidón: comparación de las muestras A1, B1 y C1*




*Nota.* Elaboración propia.

La verificación morfométrica complementaria mediante ImageJ comprende 120 gránulos seleccionados de seis micrografías SEM. Los diámetros equivalentes medios obtenidos son 12,90 µm para A1, 11,43 µm para B1 y 12,24 µm para C1. Estos valores corresponden a gránulos individualizados y morfológicamente homogéneos, por lo que no son directamente equivalentes a los promedios globales obtenidos mediante segmentación automatizada. La comparación permite disponer de una referencia dimensional independiente, aunque no constituye una evaluación de concordancia individual entre ambos procedimientos. Una distribución de tamaño de partícula más estrecha (como en la muestra A) facilitaría un comportamiento más predecible durante la gelatinización y la expansión, mientras que una distribución bimodal (como en la muestra B) podría inducir comportamientos heterogéneos debido a las diferentes cinéticas de gelatinización entre poblaciones de gránulos.

Desde una perspectiva de procesamiento, la literatura reconoce que las características del almidón pueden relacionarse con fenómenos como la hidratación, la gelatinización y las transformaciones estructurales durante la extrusión. Sin embargo, tales fenómenos también dependen de la composición, la humedad, los plastificantes y las condiciones termomecánicas (Chamorro et al., 2025). Por consiguiente, las diferencias morfológicas identificadas en este estudio no deben interpretarse como evidencia directa de variaciones en la expansión, la estabilidad o las propiedades mecánicas de futuras espumas.

En términos descriptivos, A1 presenta el menor índice de polidispersidad (D90/D10 = 8,49), mientras que C1 registra el valor más elevado (D90/D10 = 40,68). Estas diferencias caracterizan las distribuciones obtenidas mediante el procesamiento automatizado de las micrografías, pero no permiten inferir diferencias en gelatinización, expansión o propiedades mecánicas de materiales procesados. Este comportamiento ha sido descrito en sistemas espumados basados en almidón, donde las características iniciales del polvo afectan la densidad aparente, la expansión y las propiedades mecánicas de las espumas biodegradables (Martin Torrejon et al., 2023; Alban-Bolaños et al., 2024). Cabe mencionar que, en las etapas subsiguientes, se priorizará el procesamiento del material base y se documentarán los cambios significativos mediante bitácoras de seguimiento, correlacionándolos con las características de las muestras originales.

El uso de diferentes magnificaciones y factores de calibración puede limitar la comparabilidad directa de las mediciones obtenidas entre imágenes. Esta situación adquiere especial relevancia cuando la escala es determinada mediante reconocimiento óptico de caracteres (OCR) y detección automática de líneas, ya que pueden introducirse errores asociados al procesamiento digital de la imagen. Con el fin de asegurar la validez y trazabilidad de las mediciones, las escalas fueron verificadas mediante mediciones manuales independientes, fortaleciendo así la confiabilidad de los resultados y garantizando un análisis científicamente riguroso y responsable. La caracterización morfológica y la distribución de tamaños de los gránulos constituyen parámetros relevantes para el estudio de las propiedades funcionales del almidón.

Li et al. (2023) señalan que el tamaño granular se relaciona con características estructurales y fisicoquímicas que pueden influir en sus aplicaciones, mientras que Chamorro et al. (2025) destacan la importancia de la composición y las propiedades del almidón de yuca en su comportamiento durante el procesamiento. En este contexto, las diferencias descriptivas observadas entre las muestras A1, B1 y C1 aportan información preliminar para su caracterización, aunque no permiten establecer por sí solas diferencias en sus propiedades térmicas o reológicas.

Desde el punto de vista metodológico, Sozzi et al. (2025) demostraron la aplicabilidad del procesamiento automatizado de imágenes FESEM para extraer características morfológicas de partículas de almidón en muestras de arroz. Este antecedente respalda la pertinencia del análisis digital de imágenes como herramienta de caracterización. Por otra parte, Alban-Bolaños et al. (2024) investigaron la obtención de espumas biodegradables a partir de almidón termoplástico de yuca mediante extrusión, evidenciando la relevancia tecnológica de esta materia prima. En consecuencia, la información morfométrica obtenida en el presente estudio constituye una

referencia inicial para investigaciones posteriores que relacionen la distribución de tamaños de los gránulos con las condiciones de procesamiento y las propiedades de las espumas biodegradables.

## 5. Conclusiones

El análisis automatizado de 42 micrografías SEM permite obtener indicadores morfométricos de tres muestras comerciales de almidón de yuca (A1, B1 y C1), a partir de 3460 objetos segmentados. Los resultados muestran diferencias descriptivas en la dispersión, asimetría y polidispersidad de las distribuciones de diámetro equivalente. Sin embargo, la comparación exploratoria mediante Kruskal–Wallis no evidencia diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p = 0,879$). Por tanto, los resultados constituyen una caracterización morfológica preliminar, cuya interpretación debe considerar las condiciones de adquisición de las imágenes, los criterios de segmentación y las limitaciones del muestreo.

La metodología implementada permite complementar las medidas convencionales de tendencia central con indicadores como los percentiles de distribución, el índice de polidispersidad, la asimetría y la curtosis. Este procedimiento proporciona una base de análisis para investigaciones posteriores orientadas a examinar posibles relaciones entre las características morfológicas del almidón y sus propiedades térmicas, reológicas y de procesamiento. Para ello, es necesario incorporar ensayos experimentales de gelatinización, extrusión y caracterización de las espumas obtenidas, incluyendo sus propiedades estructurales y mecánicas. El código empleado puede solicitarse al autor de correspondencia para su consulta y reproducción.

## Referencias bibliográficas

Ai, Y., & Jane, J. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. Starch/Stärke, 67, 213–224. https://doi.org/10.1002/star.201400201

Ai, Y., & Jane, J. (2024). Understanding starch structure and functionality. En L. Nilsson (Ed.), Starch in food (3rd ed., pp. 55–77). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96102-8.00018-8

Alban-Bolaños, P., Ayala-Aponte, A. A., Villada-Castillo, H. S., Rodríguez-Herrera, R., Ávalos-Belmonte, F., & Solanilla-Duque, J. F. (2024). Biodegradable flexible foam: Novel material based on cassava TPS obtained by extrusion. Colloid and Polymer Science, 302(4), 597–608. https://doi.org/10.1007/s00396-023-05204-z

Alexander, J., & Contreras, C. (2017). Development of a biodegradable foam based on extruded esterified cassava starch [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca]. Repositorio Institucional Universidad del Cauca. http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/9397

Amaraweera, S. M., Gunathilake, C., Gunawardene, O. H. P., Dassanayake, R. S., Fernando, N. M. L., Wanninayaka, D. B., Rajapaksha, S. M., Manamperi, A., Gangoda, M., Manchanda, A., Fernando, C. A. N., Kulatunga, A. K., & Manipura, A. (2022). Preparation and characterization of dual-modified cassava starch-based biodegradable foams for sustainable packaging applications. ACS Omega, 7, 19579–19590. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01292

Barrera, G. N., Calderón-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G. F., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2013). Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis. Carbohydrate Polymers, 98, 1449–1457. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.056

Binou, P., Yanni, A. E., & Karathanos, V. T. (2022). Physical properties, sensory acceptance, postprandial glycemic response, and satiety of cereal-based foods enriched with legume flours: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62, 2722–2740. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1858020

Chamorro, A. F., Palencia, M., & Lerma, T. A. (2025). Physicochemical characterization and properties of cassava starch: A review. Polymers, 17(12), 1663. https://doi.org/10.3390/polym17121663

Chen, C., Kulkarni, A., Narayan, R., & Catchmark, J. M. (2026). Biodegradable starch foams with tunable properties: A comparative study of microwave and extrusion processing. Journal of Polymers and the Environment, 34. https://doi.org/10.1007/s10924-026-03847-x

Chen, Z., Zhong, H., Chen, M., Gong, F., & Li, J. (2025). The fine structure of starch: A review. npj Science of Food, 9(1), 50. https://doi.org/10.1038/s41538-025-00414-x

Chung, C. I. (2019). Extrusion of polymers: Theory and practice. Carl Hanser Verlag.

De Smit, K., Wieme, T., Marien, Y. W., Van Steenberge, P. H. M., D'hooge, D. R., & Edeleva, M. (2022). Multi-scale reactive extrusion modelling approaches to design polymer synthesis, modification and mechanical recycling. Reaction Chemistry & Engineering, 7, 245–263. https://doi.org/10.1039/D1RE00556A

Engel, J. B., Ambrosi, A., & Tessaro, I. C. (2019). Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging. Carbohydrate Polymers, 225, 115234. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115234

Figueiró, C. da S., Calcagno, C. I. W., & Santana, R. M. C. (2024). Starch foams and their additives: A brief review. Starch/Stärke, 76, 2300012. https://doi.org/10.1002/star.202300012

Götz, A., Senz, V., Schmidt, W., Huling, J., Grabow, N., & Illner, S. (2021). General image fiber tool: A concept for automated evaluation of fiber diameters in SEM images. Measurement, 177, 109265. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109265

Guo, L., Chen, H., Zhang, Y., Yan, S., Chen, X., & Gao, X. (2023). Starch granules and their size distribution in wheat: Biosynthesis, physicochemical properties and their effect on flour-based food systems. Computational and Structural Biotechnology Journal, 21, 4172–4186. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2023.08.019

Hyvärinen, M., Jabeen, R., & Kärki, T. (2020). The modelling of extrusion processes for polymers: A review. Polymers, 12(6), 1306. https://doi.org/10.3390/polym12061306

Jambeck, J. R., & Walker-Franklin, I. (2023). The impacts of plastics' life cycle. One Earth, 6(6), 600–606. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.05.015

Kim, H. S., & Huber, K. C. (2010). Physicochemical properties and amylopectin fine structures of A- and B-type granules of waxy and normal soft wheat starch. Journal of Cereal Science, 51, 256–264. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.015

Kumari, S., Rao, A., Kaur, M., & Dhania, G. (2023). Petroleum-based plastics versus bio-based plastics: A review. Nature Environment and Pollution Technology, 22(3), 1111–1124. https://doi.org/10.46488/NEPT.2023.v22i03.003

Li, M., Daygon, V. D., Solah, V., & Dhital, S. (2023). Starch granule size: Does it matter? Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63, 3683–3703. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1992607

Martin Torrejon, V., Song, H., Wu, B., Luo, G., & Song, J. (2023). Effect of starch type and pre-treatment on the properties of gelatin–starch foams produced by mechanical foaming. Polymers, 15(7), 1775.

McCrum, N. G., Buckley, C. P., & Bucknall, C. B. (2026). Principles of polymer engineering. Oxford University Press.

Meng, L., Liu, H., Yu, L., Duan, Q., Chen, L., Liu, F., Shao, Z., Shi, K., & Lin, X. (2019). How water acting as both blowing agent and plasticizer affect on starch-based foam. Industrial Crops and Products, 134, 43–49. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.056

Nabar, Y., Raquez, J. M., Dubois, P., & Narayan, R. (2005). Production of starch foams by twin-screw extrusion: Effect of maleated poly(butylene adipate-co-terephthalate) as a compatibilizer. Biomacromolecules, 6, 807–817. https://doi.org/10.1021/bm0494242

Rui-Heng, W., Li, X. Y., Li, Y. Y., Yang, G., Liu, Y. H., Zhang, J. J., Hu, Y. F., Li, Y. P., Huang, Y. B., & Liu, H. M. (2026). Development of a YOLOv10-based system for the starch granules recognition and size analysis of maize kernels. Biotechnology Bulletin, 42(6), 208–217. https://doi.org/10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2025-0957

Sirbu, E. E., Dinita, A., Tănase, M., Portoacă, A. I., Bondarev, A., Enascuta, C. E., & Calin, C. (2024). Influence of plasticizers concentration on thermal, mechanical, and physicochemical properties on starch films. Processes, 12, 2021. https://doi.org/10.3390/pr12092021

Soykeabkaew, N., Thanomsilp, C., & Suwantong, O. (2015). A review: Starch-based composite foams. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 78, 246–263. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.014

Sozzi, M., Cavallini, N., Chiadò, A., Gavoci, G., Cantaluppi, E., Haxhari, F., & Savorani, F. (2025). A new versatile algorithm to extract particle's features from FESEM images: Method evaluation and a case study on rice kernels. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 263. https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2025.105415

Sun, B., Qiu, H., Ding, X., Han, C., & Yi, Y. (2025). Effects of citric acid and polyamide-epichlorohydrin composite modification on the mechanical, hydrophobic, and thermal properties of starch/plant fiber foaming tableware materials. Industrial Crops and Products, 229, 121011. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121011

Teobaldi, A. G., Carrillo Parra, E. J., Barrera, G. N., & Ribotta, P. D. (2025). The properties of damaged starch granules: The relationship between granule structure and water–starch polymer interactions. Foods, 14, 21. https://doi.org/10.3390/foods14010021

Zhuang, Y., Saadatkhah, N., Morgani, M. S., Xu, T., Martin, C., Patience, G. S., & Ajji, A. (2023). Experimental methods in chemical engineering: Reactive extrusion. Canadian Journal of Chemical Engineering, 101, 59–77. https://doi.org/10.1002/cjce.24538

# Parte VI.

*Ética, gobernanza y retos globales de la tecnología.*

CAPÍTULO 15

# Discriminación algorítmica y vulneración del principio de igualdad: riesgo para colectivos vulnerables

*Algorithmic discrimination and violation of the principle of equality: risks for vulnerable groups*

1 **Daniel Fernando Sandoya Yance**
*Magíster en Derecho Constitucional*
Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, Ecuador
dsandoya@uteg.edu.ec
https://orcid.org/0009-0008-3298-1129

DOI https://doi.org/10.64644/9789907956313_15 RECIBIDO 11/09/2026 | ACEPTADO 14/10/2026

## RESUMEN

La inclusión acelerada de sistemas de inteligencia artificial (IA) en los procesos de toma de decisiones públicas y privadas ha puesto en tensión el principio jurídico de igualdad, en la medida en que los algoritmos pueden reproducir, ocultar o amplificar sesgos preexistentes en los datos de entrenamiento y en las decisiones de diseño técnico. Este capítulo analiza los riesgos que la discriminación algorítmica representa para los colectivos vulnerables, mujeres, personas con discapacidad, personas migrantes, grupos étnicos y personas con procesos o antecedentes judiciales de carácter penal, a partir de una revisión integrativa cualitativa de la literatura académica publicada entre 2022 y 2025. La búsqueda documental se realizó en Dialnet, Scopus, Web of Science, Redalyc, SciELO y DOAJ, empleando operadores booleanos que combinaron los términos discriminación algorítmica, sesgo, inteligencia artificial e igualdad, y aplicando criterios de inclusión centrados en artículos revisados por pares con DOI verificable. Tras un proceso de cribado documental en cinco fases y una evaluación de calidad diferenciada, se seleccionaron quince estudios primarios, analizados mediante análisis temático inductivo. Los hallazgos evidencian que la discriminación algorítmica se manifiesta de forma directa e indirecta en el empleo, la salud, la movilidad humana, la justicia penal y el acceso a servicios, afectando desproporcionadamente a los colectivos vulnerables debido a la opacidad de los sistemas, la escasa representatividad de los datos de entrenamiento y la insuficiencia del andamiaje jurídico que regula el uso de la inteligencia artificial. La evidencia disponible es, sin embargo, predominantemente doctrinal, se concentra en contextos europeos y presta escasa atención a colectivos como las personas mayores y la infancia. Como aporte específico, el capítulo propone un esquema que relaciona los enfoques teóricos de la igualdad con los tipos y mecanismos de discriminación algorítmica, y compara los modelos regulatorios de la Unión Europea, Brasil y Colorado. Se concluye que resulta imprescindible fortalecer, de manera articulada, la transparencia técnica, la igualdad sustantiva y el desarrollo

normativo en materia de IA, con especial atención a los contextos latinoamericanos, todavía insuficientemente representados en la literatura revisada.

**Palabras clave:** discriminación algorítmica, principio de igualdad, transparencia, sesgos algorítmicos, derechos fundamentales

**ABSTRACT**

The rapid integration of artificial intelligence (AI) systems into public and private decision-making processes has placed strain on the legal principle of equality, as algorithms can reproduce, conceal, or amplify pre-existing biases found in training data and technical design choices. This chapter analyzes the risks that algorithmic discrimination poses to vulnerable groups, including women, people with disabilities, migrants, ethnic groups, and individuals with past or ongoing involvement in the criminal justice system, based on a qualitative integrative review of academic literature published between 2022 and 2025. The literature search was conducted across Dialnet, Scopus, Web of Science, Redalyc, SciELO, and DOAJ, using Boolean operators to combine the terms algorithmic discrimination, bias, artificial intelligence, and equality, and applying inclusion criteria focused on peer-reviewed, indexed articles with verifiable DOI codes. Following a five-stage screening process and a differentiated quality appraisal, fifteen primary studies were selected and analyzed through inductive thematic analysis. The findings show that algorithmic discrimination manifests both directly and indirectly in employment, healthcare, human mobility, criminal justice, and access to services, disproportionately affecting vulnerable groups due to system opacity, the underrepresentation of training data, and the inadequacy of the legal frameworks regulating AI use. However, the available evidence is predominantly doctrinal, concentrated in European contexts, and pays little attention to groups such as older persons and children. As a specific contribution, the chapter proposes a framework linking theoretical approaches to equality with the types and mechanisms of algorithmic discrimination, and compares the regulatory models of the European Union, Brazil, and Colorado. The chapter concludes that strengthening transparency, substantive equality, and regulatory development regarding AI is essential, with particular attention to Latin American contexts, which remain underrepresented in the reviewed literature.

**Keywords:** algorithmic discrimination, principle of equality, transparency, algorithmic biases, fundamental rights

## 1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha experimentado un notable avance en la vida cotidiana de la sociedad contemporánea. La versatilidad de esta herramienta ha permitido acelerar el ritmo de múltiples actividades, convirtiéndose en un recurso valioso no solo para las personas, sino también para el propio Estado, que la emplea en la planificación, la elaboración de proyectos, el diseño de políticas públicas, la adopción de decisiones en el ámbito administrativo e incluso en el ámbito judicial, mediante su uso en la resolución de casos.

No obstante, junto a estos aspectos positivos —mayor eficiencia, conveniencia y, hasta cierto punto, un grado de democratización del acceso a servicios—, su empleo en determinados ámbitos podría afectar derechos fundamentales de grupos sociales y el principio de igualdad, en particular de personas migrantes y grupos étnicos, cuyos derechos se encuentran reconocidos en diversos

instrumentos internacionales. La literatura académica ha cuestionado crecientemente el uso de esta herramienta, advirtiendo que, en ocasiones, amplifica patrones históricos de desigualdad, dando lugar a lo que doctrinalmente se conoce como discriminación algorítmica (Iturmendi Rubia, 2023).

Desde el punto de vista jurídico, la inteligencia artificial ha experimentado una escalada de uso en el sistema de justicia, donde se ha convertido en una herramienta de gran utilidad, pero con escasa regulación, lo que podría estar afectando la forma en que se resuelven los casos. En este ámbito se ve amenazado el principio de igualdad y no discriminación, pese a que dicho principio constituye un pilar fundamental del derecho constitucional contemporáneo.

En primer lugar, Adams-Prassl et al. (2023) observan que la opacidad técnica de los modelos, especialmente los basados en aprendizaje automático, dificulta la identificación de las personas que han recibido un trato desigual y, con mayor razón, que estas puedan aportar los indicios y pruebas que tradicionalmente exige el derecho antidiscriminatorio. En segundo lugar, Capellà i Ricart (2024) indica que la discriminación algorítmica opera mediante variables proxy, es decir, correlaciones estadísticas con características protegidas como el sexo, el origen étnico o la discapacidad, sin que se requiera una intención discriminatoria para que se produzca un daño lesivo.

La necesidad de generar conocimiento que motiva esta revisión nace, precisamente, de la brecha existente entre el ritmo de despliegue de sistemas de IA en sectores sensibles y la capacidad de los marcos jurídicos, éticos y técnicos para detectar, anticipar y remediar sus efectos discriminatorios sobre colectivos expuestos a una vulnerabilidad constante, como las mujeres, las personas con discapacidad, las personas migrantes, los grupos étnicos, las personas adultas mayores y quienes enfrentan procesos o antecedentes judiciales. Amaya-Santos et al. (2024) señalan que estos colectivos comparten una posición de desventaja estructural previa a la introducción de la tecnología, lo que hace que los sesgos de los datos, que reflejan desigualdades históricas, tiendan a perpetuar el perjuicio cuando son empleados para entrenar modelos predictivos.

La importancia de abordar este fenómeno de forma científica y académica radica en su carácter transversal. La discriminación algorítmica no es un problema exclusivamente informático ni exclusivamente jurídico, sino un objeto de estudio inherentemente interdisciplinario que convoca también a la sociología de la tecnología y a los estudios de género y de discapacidad.

Comprender sus mecanismos de producción —sesgos de medición, de muestreo, de despliegue y algorítmicos en sentido estricto— resulta indispensable no solo para el diseño de sistemas más justos, sino también para la actualización de los marcos normativos, como señala Martínez Navarro (2025). La reciente aprobación del Reglamento (UE) 2024/1689 sobre inteligencia artificial (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2024) introduce, por primera vez en el contexto europeo, un régimen específico de gestión de riesgos para los sistemas que puedan afectar a colectivos vulnerables.

Este capítulo se justifica en la constatación de que buena parte de la literatura disponible se encuentra fragmentada por disciplinas y por sectores de aplicación —salud, justicia, trabajo, educación—, sin que exista una síntesis que integre esta evidencia bajo el prisma del principio de igualdad. Esta dispersión dificulta que los responsables de políticas públicas, los operadores

jurídicos y las personas diseñadoras de sistemas cuenten con una visión de conjunto de los riesgos identificados y de los vacíos de conocimiento pendientes.

Frente a las revisiones previas sobre inteligencia artificial y discriminación, que suelen concentrarse en un único sector, en un único colectivo —como la revisión de alcance de El Morr et al. (2024) sobre discapacidad— o en una sola tradición disciplinar, técnica o jurídica, la contribución específica de este capítulo es triple. En primer lugar, integra bajo un mismo marco analítico, centrado en el principio de igualdad, evidencia procedente de estudios jurídicos, técnicos y filosóficos que hasta ahora se encuentra dispersa, y delimita con precisión las categorías conceptuales que la literatura suele emplear de forma indistinta.

En segundo lugar, propone un esquema de síntesis propio (Tabla 4) que relaciona explícitamente los enfoques teóricos de la igualdad con los tipos de discriminación algorítmica, sus mecanismos de producción y los sectores en que predominan. En tercer lugar, incorpora un análisis comparado de tres modelos regulatorios —Unión Europea, Brasil y Colorado— y examina las implicaciones de la escasez de evidencia latinoamericana para la transferibilidad de los hallazgos a la región, una dimensión escasamente abordada por las revisiones existentes.

El objetivo general de este capítulo es analizar, mediante una síntesis integrativa de la literatura académica publicada entre 2022 y 2025, los riesgos que la discriminación algorítmica plantea al principio de igualdad respecto de los colectivos vulnerables, identificando sus principales manifestaciones sectoriales, los enfoques teóricos empleados para su comprensión, los avances regulatorios y técnicos más recientes, y los vacíos de investigación que persisten en la materia.

Específicamente, se busca: i) sistematizar las tendencias temáticas de la producción científica reciente sobre discriminación algorítmica; ii) comparar los principales enfoques teóricos (anticlasificatorio, antisubordinatorio, interseccional y de justicia distributiva) empleados para explicar el fenómeno; iii) describir los avances científicos y normativos más relevantes en sectores críticos como el empleo, la salud y la justicia; y iv) señalar los vacíos y desafíos de investigación que deben orientar la agenda futura, con particular atención a los contextos latinoamericanos.

### 1.1. Delimitación conceptual

Dado que el fenómeno estudiado se sitúa en la intersección de categorías jurídicas, éticas, tecnológicas y sociológicas, resulta necesario precisar desde el inicio el alcance de cuatro nociones que la literatura suele emplear de forma intercambiable y que, en este capítulo, se utilizan con un sentido diferenciado.

El *sesgo algorítmico* se entiende como una desviación sistemática en el funcionamiento o en los resultados de un sistema automatizado, originada en los datos de entrenamiento (sesgos de muestreo o de medición), en las decisiones de diseño (selección de variables, definición del objetivo de optimización) o en las condiciones de despliegue e interacción con las personas usuarias; Pérez-Ugena Coromina, 2024). Se trata de una categoría técnica y descriptiva: no todo sesgo es jurídicamente relevante ni produce, por sí mismo, un trato discriminatorio.

La *inequidad estadística*, o disparidad de resultados, designa la diferencia cuantificable que un sistema produce entre grupos en las tasas de acierto, error, selección o asignación de recursos, medida mediante métricas de equidad como la paridad demográfica o la igualdad de tasas de falsos positivos y falsos negativos (Calahorrano Latorre, 2025). Es una noción operativa: constituye un indicio, pero no una prueba concluyente, de discriminación, ya que determinadas disparidades pueden estar justificadas y, a la inversa, la paridad estadística no excluye por sí sola un trato lesivo.

La *discriminación algorítmica* es, en cambio, una categoría jurídico-normativa: se configura cuando el uso de un sistema automatizado produce un trato menos favorable, o una desventaja particular, a personas en razón de una característica protegida, ya sea de forma directa, cuando el sistema utiliza esa característica o una variable sustitutiva que la reproduce con precisión, o indirecta, cuando un criterio aparentemente neutro genera un impacto desproporcionado sin justificación objetiva y proporcional, con independencia de la intención de quienes diseñan o despliegan el sistema (Adams-Prassl et al., 2023; Lousada Arochena, 2024).

Por último, la *vulneración del principio de igualdad* se sitúa en el plano constitucional y de los derechos fundamentales: alude a la afectación del mandato de igualdad formal y sustantiva y de la prohibición de discriminación, que puede derivar no solo de decisiones individuales discriminatorias, sino también de la acumulación de efectos estructurales que consolidan la subordinación de determinados grupos (Capellà i Ricart, 2024).

En consecuencia, el capítulo asume entre estas categorías una relación de progresión analítica, y no de sinonimia: el sesgo algorítmico es el mecanismo técnico; la inequidad estadística, su expresión medible; la discriminación algorítmica, su calificación jurídica cuando concurren los elementos exigidos por el derecho antidiscriminatorio; y la vulneración del principio de igualdad, su consecuencia en el plano de los derechos fundamentales. Esta distinción orienta la lectura de los resultados y permite identificar en qué nivel se sitúa cada hallazgo de la literatura revisada.

## 2. Metodología de la revisión

El presente trabajo se elabora a partir de una revisión integrativa de la literatura académica. Se optó por este tipo de diseño, y no por una revisión sistemática en sentido estricto ni por un estado del arte meramente descriptivo, en la medida en que el fenómeno de la discriminación algorítmica ha sido abordado desde tradiciones metodológicas heterogéneas —estudios doctrinales y dogmático-jurídicos, investigaciones empíricas cuantitativas sobre sesgo en modelos de aprendizaje automático, y ensayos filosóficos y reflexiones normativas— que difícilmente podrían compararse bajo los criterios homogéneos de calidad metodológica que exige una revisión sistemática clásica. La revisión integrativa permite combinar evidencia proveniente de diseños diversos con el fin de generar una comprensión más global del fenómeno, sin renunciar al rigor ni a la transparencia en la estrategia de búsqueda y selección documental.

Conviene precisar, para evitar ambigüedades sobre el tipo de revisión desarrollada, que la adopción de elementos procedimentales propios de las revisiones sistemáticas, búsqueda

estructurada en bases de datos, criterios explícitos de inclusión y exclusión, cribado por fases y evaluación de calidad, no convierte este trabajo en una revisión sistemática.

Dichos elementos se emplean como garantías de transparencia y trazabilidad de la búsqueda, mientras que la síntesis de la evidencia es de naturaleza cualitativa e interpretativa, como corresponde al diseño integrativo, cuyas etapas, identificación del problema, búsqueda bibliográfica, evaluación de los datos, análisis de los datos y presentación de los resultados, se siguieron en este estudio. Del mismo modo, la declaración PRISMA 2020, Page et al. (2021) se utilizó únicamente como guía para reportar el proceso de selección documental (Tabla 1 y Figura 1), y no como protocolo de una revisión sistemática con metanálisis.

La búsqueda documental se llevó a cabo entre los meses de julio y agosto de 2025, restringiendo los resultados a documentos publicados entre enero de 2022 y agosto de 2025, con el fin de garantizar la actualidad de la evidencia analizada. Las cadenas de búsqueda se ajustaron a la sintaxis específica de cada base de datos y se reforzaron mediante una revisión manual de las referencias bibliográficas de los documentos preseleccionados (técnica de bola de nieve), con el fin de identificar estudios pertinentes que no estuvieran indexados directamente bajo los descriptores utilizados. Las bases y repositorios consultados fueron Scopus, Web of Science, Scielo, Redalyc, Dialnet y DOAJ (Directory of Open Access Journals).

En cuanto a los criterios de inclusión se determinaron:

- Artículos publicados en revistas académicas indexadas y sometidos a revisión por pares.
- Documentos publicados entre enero de 2022 y agosto de 2025.
- Estudios que abordaran de manera explícita la discriminación algorítmica, los sesgos algorítmicos o el principio de igualdad en relación con sistemas de inteligencia artificial.
- Textos disponibles en español, inglés o portugués, con resumen y texto completo accesibles.
- Documentos que contaran con código DOI verificable, como garantía mínima de trazabilidad y calidad editorial.

En cuanto a los criterios de exclusión se determinaron mediante:

- Documentos duplicados entre las distintas bases de datos consultadas.
- Literatura no académica (blogs, notas de prensa, entradas de opinión sin respaldo editorial revisado por pares).
- Estudios sin descripción metodológica mínima que permitiera valorar el origen y la fiabilidad de sus hallazgos.
- Documentos sin código DOI verificable o cuya autoría no pudo confirmarse.
- Publicaciones anteriores a 2022, salvo instrumentos normativos vigentes citados como fuente primaria de derecho.

## 2.1. Procedimiento de selección

El proceso de selección documental se reporta siguiendo la estructura del diagrama de flujo PRISMA 2020 (Page et al., 2021), adaptada a las características de una revisión integrativa que combina literatura jurídica, técnica y empírica. La Tabla 1 sintetiza el número de registros identificados, cribados, evaluados a texto completo e incluidos en la síntesis final, y la Figura 1 representa gráficamente dicho flujo.

**Tabla 1**

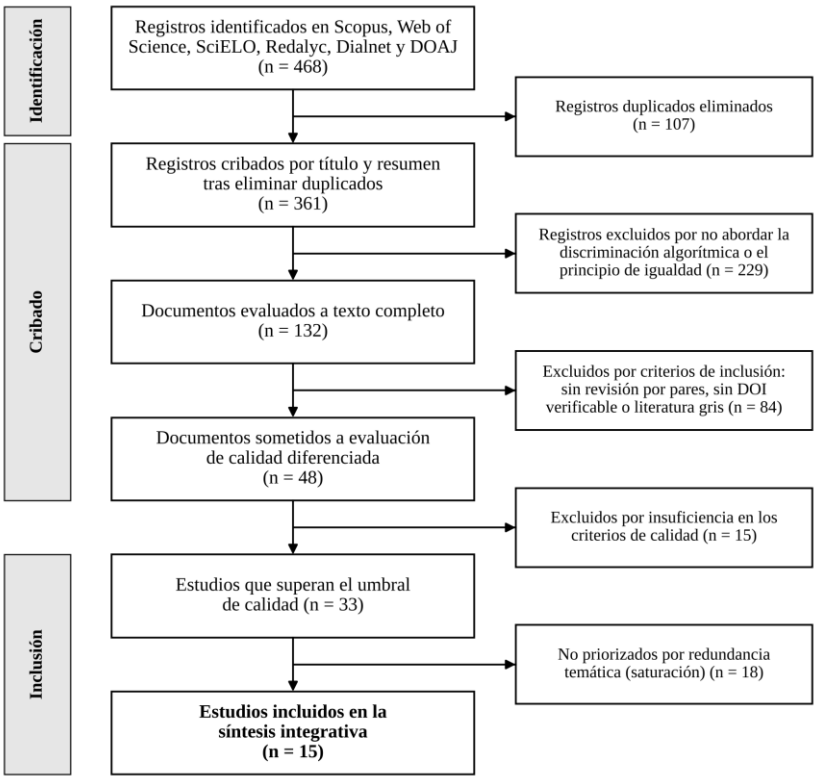
*Proceso de identificación, cribado y selección documental*

| Fase del proceso | Registros | Observaciones |
|---|---|---|
| Identificación | n = 468 | Registros localizados en las seis bases de datos consultadas mediante las cadenas de búsqueda booleanas. |
| Eliminación de duplicados | n = 361 | Se depuraron 107 registros duplicados entre bases de datos. |
| Cribado por título y resumen | n = 132 | Se excluyeron 229 registros por no abordar directamente la discriminación algorítmica o el principio de igualdad. |
| Evaluación de texto completo | n = 48 | Se descartaron 84 documentos por no cumplir los criterios de inclusión (ausencia de revisión por pares, falta de DOI verificable, literatura gris). |
| Evaluación de calidad | n = 33 | Se excluyeron 15 documentos adicionales por insuficiencia en los criterios de calidad diferenciada descritos en el apartado “Criterios de calidad de los estudios incluidos” (descripción metodológica incompleta, ausencia de fundamentación teórica explícita o redundancia temática sin aporte conceptual adicional). |
| **Estudios incluidos en la síntesis** | **n = 15** | De los 33 estudios que superaron el umbral de calidad, se priorizaron 15 conforme a los criterios de saturación temática y representatividad teórica; los 18 restantes no se incorporaron por reiterar casos o argumentos ya representados en el corpus. |

*Nota.* Elaboración propia a partir del proceso de búsqueda y cribado documental descrito.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo del proceso de selección documental*




*Nota*. Elaboración propia, adaptada de la estructura del diagrama de flujo PRISMA 2020 (Page et al., 2021), a partir de los datos de la Tabla 1.

La reducción del corpus de 48 a 15 estudios no respondió a un límite arbitrario, sino a la aplicación sucesiva de los criterios de calidad y de saturación temática. En un primer momento se identificaron 33 estudios que superaban el umbral mínimo de calidad exigido; de ellos, se priorizaron los quince que, en conjunto, permitían representar los principales sectores de aplicación identificados en la literatura (empleo, salud, justicia penal y migración), los cuatro enfoques teóricos que estructuran el debate (anticlasificatorio, antisubordinatorio, interseccional y de justicia distributiva) y la mayor diversidad geográfica y metodológica posible dentro de las limitaciones de la producción disponible.

Estudios adicionales que abordaban el mismo caso paradigmático (por ejemplo, distintos análisis doctrinales sobre el sistema COMPAS o sobre el mismo caso de cribado curricular sesgado por género) fueron excluidos cuando no aportaban elementos teóricos o empíricos sustancialmente nuevos respecto de los ya incorporados, con el fin de evitar la sobrerrepresentación de un mismo caso en desmedro de la diversidad sectorial y teórica del corpus.

Esta decisión se apoya en el criterio de saturación temática propio de la investigación cualitativa, entendido aquí, en su dimensión temática, como el punto en que la incorporación de nuevos estudios a la matriz de vaciado deja de generar códigos o categorías adicionales y se limita a reiterar los ya identificados. Bajo este criterio, la representatividad que se persigue es teórica y no estadística: el corpus no pretende ser una muestra proporcional de la producción científica sobre

discriminación algorítmica, sino un conjunto suficiente para cubrir la variedad de enfoques teóricos, mecanismos de sesgo y sectores de aplicación presentes en la literatura. Este planteamiento es coherente con la finalidad interpretativa de la revisión integrativa, pero impide extraer conclusiones sobre la frecuencia o la prevalencia de los fenómenos descritos.

Debe reconocerse, asimismo, que la composición final del corpus presenta una marcada concentración geográfica. Siete de los estudios incluidos proceden de España y uno del Reino Unido, de modo que más de la mitad del corpus se sitúa en el contexto europeo; otros dos corresponden a Estados Unidos y Canadá, y solo cuatro tienen origen latinoamericano (Colombia, Ecuador y México), dos de los cuales se centran, además, en marcos normativos o casos extranjeros (Tabla 2).

Esta distribución refleja en parte la estructura de la producción indexada disponible en el periodo y en los idiomas considerados, pero condiciona el alcance de los hallazgos: las categorías, los casos y los marcos regulatorios analizados responden mayoritariamente a contextos europeos y estadounidenses, por lo que su transferencia a otras realidades debe realizarse con cautela, cuestión que se retoma en la discusión.

### 2.2. Criterios de calidad de los estudios incluidos

Dado que el corpus documental combina tradiciones metodológicas heterogéneas, estudios doctrinal-jurídicos, empírico-cualitativos, empírico-documentales, filosófico-antropológicos y analítico-normativos, no resultaba adecuado aplicar una única herramienta estandarizada de evaluación de calidad, como ocurriría en una revisión sistemática centrada en un solo tipo de diseño. En su lugar, se adoptó un esquema de evaluación diferenciada de calidad, adaptado de los principios generales de las listas de verificación del tipo Joanna Briggs Institute (JBI) y CASP, aplicado de forma distinta según la naturaleza del estudio:

- Para los estudios de corte empírico (cualitativo, documental o cuantitativo): claridad de la pregunta de investigación, adecuación y transparencia de la descripción metodológica, coherencia entre los datos presentados y las conclusiones alcanzadas, y explicitación de las limitaciones del propio estudio.
- Para los estudios doctrinal-jurídicos y dogmático-jurídicos: actualidad y suficiencia de las fuentes normativas y jurisprudenciales empleadas, coherencia argumentativa interna, diálogo explícito con posiciones doctrinales divergentes y aporte a la clarificación conceptual del fenómeno analizado.
- Para los ensayos filosóficos y analítico-normativos: coherencia argumentativa, vinculación explícita con los debates teóricos existentes sobre igualdad y no discriminación, y originalidad conceptual del planteamiento.

Cada uno de los 48 estudios evaluados a texto completo fue valorado de forma independiente frente a estos criterios, asignando una valoración cualitativa (adecuado / parcialmente adecuado / inadecuado) por dimensión. Los estudios valorados como inadecuados en dos o más dimensiones fueron excluidos del corpus final; los resultados de esta evaluación no se emplearon para ponderar

el peso argumentativo de cada estudio dentro de la síntesis, sino únicamente como filtro de inclusión, dado que la revisión integrativa no persigue un metanálisis cuantitativo de efectos.

### 2.3. Procedimiento de análisis temático

El análisis del corpus documental siguió las fases del análisis temático propuestas por Braun y Clarke (2021), adaptadas al carácter interdisciplinario del material: i) familiarización con los documentos mediante una lectura completa de cada estudio; ii) generación de códigos descriptivos iniciales, aplicados a los fragmentos referidos a mecanismos de sesgo, colectivos afectados, enfoques teóricos, sectores de aplicación y respuestas regulatorias; iii) agrupación de los códigos en categorías temáticas emergentes; iv) revisión y refinamiento de las categorías mediante contraste constante con el corpus completo, verificando su coherencia interna y su capacidad de diferenciación externa; v) definición y denominación final de los temas, que dieron lugar a la estructura de los apartados, y vi) elaboración de una matriz de vaciado documental que registró, para cada estudio, el enfoque teórico predominante, el colectivo o colectivos abordados, el sector de aplicación, el país o región de origen, los principales hallazgos y las citas textuales relevantes. Esta matriz constituye el soporte analítico que permitió construir tanto la Tabla 2 como los apartados de desarrollo y discusión del capítulo.

Finalmente, con el fin de precisar el marco conceptual y de contrastar los hallazgos del corpus con evidencia empírica reciente, en la introducción y en la discusión se recurre a literatura complementaria, trabajos metodológicos, estudios empíricos de auditoría algorítmica y estudios latinoamericanos, que no forma parte del corpus analizado, por lo que no se incluye en la Tabla 2 ni intervino en la construcción de las categorías temáticas.

### 2.4. Limitaciones metodológicas de la revisión

Como toda revisión integrativa que combina literatura de naturalezas metodológicas distintas, este trabajo presenta limitaciones que deben explicitarse. En primer lugar, la evaluación de calidad diferenciada, si bien permite comparar estudios de distinta naturaleza, conlleva un mayor grado de juicio interpretativo que las herramientas estandarizadas de evaluación del riesgo de sesgo propias de las revisiones sistemáticas clásicas, lo que introduce un margen de subjetividad que no puede eliminarse por completo.

En segundo lugar, la restricción idiomática a español, inglés y portugués, junto con la exigencia de DOI verificable, pudo excluir literatura relevante publicada en otros idiomas o en repositorios institucionales no indexados, lo que probablemente contribuye al sesgo de concentración geográfica identificado. En tercer lugar, el tamaño reducido del corpus final (n = 15), aunque coherente con el propósito de una síntesis integrativa en profundidad, limita la posibilidad de generalizar los hallazgos y no permite un análisis cuantitativo de tendencias. En cuarto lugar, el corpus está dominado por estudios de naturaleza doctrinal, teórica o filosófica: solo tres de los trabajos incluidos tienen un componente empírico o de síntesis de evidencia empírica (Amaya-Santos et al., 2024; El Morr et al., 2024; Roa Avella et al., 2022), y ninguno consiste en una auditoría directa de

sistemas desplegados en contextos reales, lo que condiciona el tipo de conclusiones que pueden extraerse.

Finalmente, al no tratarse de una revisión sistemática en sentido estricto, no se registró un protocolo previo en una plataforma de registro de revisiones, y el diagrama de flujo de la Figura 1 se elaboró a partir del registro del proceso de cribado; ello se reconoce como una limitación de transparencia metodológica frente a los estándares más exigentes del campo, que futuras actualizaciones de esta línea de investigación deberían subsanar.

Aplicados los criterios de inclusión, exclusión y calidad, el corpus final quedó constituido por quince estudios primarios, cuya distribución por base de datos, país de origen, enfoque metodológico y colectivo abordado se presenta en la Tabla 2. Esta recopilación fue analizada mediante la matriz temática que permitió identificar categorías emergentes, tendencias de investigación, enfoques teóricos, avances sectoriales y vacíos de conocimiento, los cuales estructuran el desarrollo de la revisión en el apartado siguiente.

**Tabla 2**

*Corpus documental analizado (n = 15)*

| Estudio | Base de datos | País | Enfoque metodológico | Colectivo abordado |
|---|---|---|---|---|
| Adams-Prassl et al. (2023) | Web of Science | Reino Unido | Doctrinal-jurídico | Trabajadores en general |
| Álvarez García (2023) | Dialnet | España | Doctrinal-jurídico | Personas con discapacidad |
| Amaya-Santos et al. (2024) | SciELO | España | Empírico-cualitativo | Pacientes / salud |
| Calahorrano Latorre (2025) | DOAJ | Ecuador | Doctrinal-dogmático | Pacientes / salud |
| Capellà i Ricart (2024) | DOAJ | España | Teórico-jurídico | Grupos subordinados estructuralmente |
| El Morr et al. (2024) | Scopus | Canadá | Revisión sistemática exploratoria | Personas con discapacidad |
| Flores Anarte (2023) | Dialnet | España | Doctrinal-jurídico | Mujeres |
| Iturmendi Rubia (2023) | Redalyc | España | Doctrinal-jurídico | Personas migrantes |
| Lousada Arochena (2024) | Dialnet | España | Doctrinal-jurídico | Mujeres |
| Martínez Navarro (2025) | Redalyc | Colombia / UE | Analítico-normativo | Colectivos vulnerables (general) |
| Morales Ramírez (2023) | Redalyc | México | Filosófico-antropológico | Población general |
| Pérez-Ugena Coromina (2024) | Dialnet | España | Doctrinal-jurídico | Mujeres |
| Roa Avella et al. (2022) | Dialnet | Colombia / EE. UU. | Empírico-documental | Personas afrodescendientes / justicia penal |
| Tilmes (2022) | Scopus | EE. UU. | Ético-filosófico | Personas con discapacidad |

*Nota.* Elaboración propia a partir del corpus documental seleccionado.

## 3. Desarrollo de la revisión

El análisis del corpus documental permite identificar una primera tendencia: el desplazamiento de la discusión académica desde una preocupación inicial por la discriminación algorítmica como fenómeno técnico vinculado a la calidad de los datos de entrenamiento, hacia una comprensión más amplia que integra sus dimensiones jurídicas, éticas y de derechos humanos. Iturmendi Rubia (2023) expone cómo la discriminación algorítmica, entendida como el fenómeno por el cual los sistemas de aprendizaje automático perpetúan o amplifican prejuicios humanos preexistentes, ha pasado de analizarse como un defecto técnico corregible a considerarse un riesgo estructural para la dignidad humana, particularmente en el caso de las personas migrantes, quienes suelen estar sobreexpuestas en bases de datos de control fronterizo y de seguridad sin las garantías procesales adecuadas.

La segunda tendencia identificada es una creciente segmentación de la investigación. En vez de estudios generales sobre "sesgo en IA", la producción reciente tiende a estudiarse por ámbito de aplicación: empleo y selección de personal (Adams-Prassl et al., 2023; Tilmes, 2022), salud y diagnóstico clínico (Amaya-Santos et al., 2024; Calahorrano Latorre, 2025), justicia penal (Roa Avella et al., 2022) y protección social o migratoria (Iturmendi Rubia, 2023).

Esta división responde a la constatación de que los mecanismos de producción del sesgo, así como sus consecuencias jurídicas, varían esencialmente según el contexto de aplicación: no es lo mismo un sesgo en un algoritmo de cribado curricular que uno incorporado en un sistema de valoración del riesgo de reincidencia penal, aun cuando ambos puedan analizarse bajo la sombra común del principio de igualdad.

La entrada en vigor del Reglamento (UE) 2024/1689 el 1 de agosto de 2024 (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2024), analizado por Martínez Navarro (2025), ha generado una oleada de análisis jurídicos orientados a evaluar su capacidad real para prevenir la discriminación algorítmica, especialmente respecto de los colectivos vulnerables mencionados de forma expresa en la norma. Esta inclinación normativa convive con una llamativa insuficiencia de estudios empíricos latinoamericanos que examinen la aplicación de marcos regulatorios equivalentes dentro de la región, lo que sugiere una desproporción geográfica en la producción científica.

Finalmente, se observa una cuarta tendencia relativa al tránsito desde enfoques puramente correctivos, centrados en la auditoría y mitigación técnica del sesgo una vez detectado, hacia enfoques preventivos y de diseño que buscan incorporar la perspectiva de género desde las primeras fases del desarrollo, según Pérez-Ugena Coromina (2024). Para El Morr et al. (2024), la inteligencia artificial aporta a las personas con discapacidad ventajas esenciales que se concentran en tres ejes: facilitar el acceso a entornos y servicios, fortalecer su independencia en la vida cotidiana y promover una mayor participación e inclusión social. Este giro hacia el diseño responsable dialoga con los principios de "privacidad desde el diseño" y "ética desde el diseño", ya consolidados en otros ámbitos de la regulación tecnológica.

La bibliografía revisada permite discernir al menos cuatro enfoques teóricos, no necesariamente excluyentes entre sí, que orientan la comprensión académica de la discriminación algorítmica y su relación con el principio de igualdad. La Tabla 3 sintetiza sus premisas centrales y los autores representativos dentro de la recopilación analizada.

**Tabla 3**

*Enfoques teóricos identificados en la revisión*

| Enfoque teórico | Premisa central | Autores representativos |
|---|---|---|
| **Anticlasificación** | La igualdad exige neutralidad formal: prohíbe el uso de categorías protegidas (sexo, raza, discapacidad) como criterio de decisión, incluso de forma indirecta. | Adams-Prassl et al. (2023) |
| **Antisubordinación** | La igualdad exige atender los efectos estructurales de la discriminación sobre grupos históricamente subordinados, más allá de la neutralidad formal del algoritmo. | Capellà i Ricart (2024) |
| **Interseccional** | Los sesgos algorítmicos se potencian cuando convergen varias categorías de vulnerabilidad (por ejemplo, mujer, migrante y de bajos ingresos), generando discriminación compuesta. | Amaya-Santos et al. (2024); Iturmendi Rubia (2023) |
| **Justicia distributiva y equidad técnica** | La equidad se mide mediante métricas estadísticas de paridad entre grupos en los resultados del sistema (falsos positivos, tasas de error). | Calahorrano Latorre (2025); El Morr et al. (2024) |

*Nota.* Elaboración propia a partir del análisis temático del corpus documental.

Con el fin de visualizar de manera integrada la relación entre estos enfoques teóricos, los mecanismos de producción del sesgo y las manifestaciones sectoriales, la Tabla 4 ofrece un esquema de síntesis que constituye uno de los aportes propios de esta revisión.

**Tabla 4**

*Relación entre enfoques teóricos, tipos de discriminación algorítmica y sectores de aplicación*

| Enfoque teórico dominante | Tipo de discriminación algorítmica asociada | Mecanismo de producción típico | Sector(es) donde predomina en el corpus |
|---|---|---|---|
| Anticlasificación | Discriminación directa por variable proxy | Sesgo de medición / uso de variables sustitutas de una categoría protegida | Empleo y selección de personal |
| Antisubordinación | Discriminación estructural / sistémica | Monocultura algorítmica; descontextualización histórica de los datos | Justicia penal; regulación general |
| Interseccional | Discriminación compuesta o agravada | Sesgo de muestreo combinado en múltiples ejes de identidad | Salud; protección migratoria |
| Justicia distributiva y equidad técnica | Disparidad estadística entre subgrupos | Sesgo de despliegue; desbalance de tasas de error entre grupos | Salud; discapacidad |

*Nota.* Los sectores indicados corresponden a aquellos en que cada enfoque predomina dentro del corpus, no a su ámbito exclusivo de aplicación. Elaboración propia a partir del análisis temático del corpus documental.

El planteamiento anticlasificatorio, de corte liberal clásico, sostiene que la igualdad exige neutralidad formal de las decisiones respecto de categorías protegidas. Adams-Prassl et al. (2023) aplican esta lógica al analizar cómo los algoritmos pueden constituir discriminación directa cuando actúan como "proxies perfectos" de una característica protegida, esto es, cuando el conjunto de variables empleadas por el sistema reproduce con precisión la pertenencia a un grupo protegido, incluso si ningún ser humano ha tenido la intención de discriminar. Con esta visión, la responsabilidad jurídica no depende de la intencionalidad de quien programa el sistema, sino del efecto discriminatorio verificable del sistema.

El enfoque antisubordinatorio, desarrollado con claridad por Capellà i Ricart (2024), cuestiona que la neutralidad formal sea suficiente para garantizar una igualdad sustantiva. Desde esta perspectiva, la discriminación algorítmica debe analizarse atendiendo a si el sistema contribuye a prolongar relaciones estructurales de subordinación entre grupos sociales, con independencia de que la variable protegida se utilice de forma directa o indirecta.

La crítica antisubordinatoria identifica cuatro rasgos específicos: i) la incorporación de estereotipos en los conjuntos de datos de entrenamiento; ii) la apariencia engañosa de neutralidad técnica que oculta decisiones valorativas; iii) la descontextualización de los datos históricos respecto de su origen social; y iv) la tendencia a una "monocultura algorítmica", es decir, la convergencia de distintos sistemas hacia patrones de decisión similares que amplifican, a escala social, sesgos que individualmente podrían parecer menores.

El planteamiento interseccional resulta especialmente relevante para comprender la situación de los colectivos que acumulan más de una condición de vulnerabilidad. Amaya-Santos et al. (2024) plantean la necesidad de incorporar un enfoque interseccional en el diseño, entrenamiento y evaluación de sistemas de IA en salud: i) denominan "sesgo interseccional" a la discriminación sistemática e injusta que surge cuando interactúan varios ejes de identidad y opresión, generando disparidades que no son la simple suma de discriminaciones separadas, sino una forma específica y agravada de exclusión; ii) advierten que los análisis de equidad basados en una sola variable (solo género, solo etnia, etc.) son insuficientes para captar la naturaleza entrelazada de la discriminación algorítmica, lo que deja fuera a las poblaciones en los márgenes de varias categorías; y iii) proponen que, para evitar la exclusión de poblaciones vulnerables en la salud digital, es indispensable adoptar marcos analíticos y métricas que consideren de manera conjunta género, raza o etnia, clase, estatus migratorio y otras categorías relevantes.

En la misma línea, Iturmendi Rubia (2023) sostiene que ciertos colectivos migrantes enfrentan una doble vulnerabilidad algorítmica: se encuentran sobrerrepresentados en las bases de datos vinculadas con la seguridad y el control, mientras están insuficientemente representados en conjuntos de datos considerados "benignos", como aquellos utilizados para evaluar solicitudes de crédito. Esta situación puede provocar que los sistemas automatizados asocien injustificadamente la condición migratoria con el riesgo o la sospecha, mientras limitan simultáneamente el acceso de estas personas a oportunidades económicas y sociales.

El desarrollo analítico del enfoque interseccional exige, sin embargo, ir más allá de su reconocimiento declarativo. Para mostrar que el derecho antidiscriminatorio, al examinar por

separado el sexo y la raza, dejaba sin protección la experiencia específica de las mujeres negras, adquiere en el contexto algorítmico una dimensión técnica precisa: la *discriminación compuesta* se produce cuando el perjuicio que sufre un subgrupo definido por la intersección de dos o más características es mayor que el observado para cada una de ellas por separado, o incluso cuando existe en el subgrupo pese a no detectarse en ninguna de las categorías consideradas aisladamente.

Estudios empíricos recientes, ajenos al corpus, pero útiles para contrastarlo, confirman esta lógica. Wilson y Caliskan (2024) hallaron que los sistemas favorecieron nombres asociados a personas blancas en el 85,1 % de las comparaciones, mientras que los nombres asociados a mujeres fueron preferidos únicamente en el 11,1 %.

Asimismo, los hombres negros fueron desfavorecidos en hasta el 100 % de los casos, evidenciando sesgos interseccionales que no se explican por la simple adición de los sesgos de raza y género. An et al. (2025), analizan que, de aproximadamente 361 000 currículos evaluados por cinco modelos de lenguaje de gran escala, se observaron puntuaciones más favorables para las mujeres y menos favorables para los hombres negros con calificaciones equivalentes. Este resultado evidencia que la dirección del sesgo puede variar según el eje analizado y que solo se vuelve visible cuando los datos se desagregan por subgrupos interseccionales.

Desde el punto de vista de la medición, ello tiene consecuencias directas sobre las métricas de equidad. Las métricas convencionales evalúan la paridad respecto de una única variable protegida, de modo que un sistema puede satisfacer simultáneamente la paridad por sexo y la paridad por origen étnico y, sin embargo, perjudicar sistemáticamente a un subgrupo concreto, fenómeno que la literatura técnica ha denominado *fairness gerrymandering (Kearns et al., 2018).*

Para afrontarlo se han propuesto métricas de equidad interseccional, como la equidad por subgrupos, que exige que las tasas de error o de selección no difieran significativamente en ningún subgrupo definido por combinaciones de atributos protegidos (Kearns et al., 2018), o la equidad diferencial, que acota la razón entre las probabilidades de obtener un resultado favorable en todos los subgrupos interseccionales (Foulds et al., 2020).

Su aplicación enfrenta, no obstante, dos dificultades que conectan con los hallazgos del corpus: la escasez de datos sobre subgrupos pequeños, que hace estadísticamente inestables las estimaciones precisamente para las poblaciones más marginadas (Amaya-Santos et al., 2024), y la indisponibilidad o el carácter sensible de los datos sobre categorías protegidas, cuya recolección está limitada en muchos ordenamientos. De ahí que el enfoque interseccional no pueda reducirse a una cuestión métrica y requiera también un reconocimiento jurídico de la discriminación múltiple o interseccional, todavía incipiente en los marcos normativos analizados.

En la literatura de orientación más cuantitativa predomina un enfoque de justicia distributiva y equidad técnica que opera el principio de igualdad mediante indicadores estadísticos de paridad entre grupos, como las tasas comparables de falsos positivos o falsos negativos en distintas subpoblaciones.

Calahorrano Latorre (2025) y El Morr et al. (2024) sostienen que, aunque estas métricas son herramientas relevantes para identificar y medir desigualdades objetivamente verificables, resultan

insuficientes para revelar por sí mismas los efectos cualitativos de la discriminación algorítmica, entre ellos el deterioro de la confianza de las personas con discapacidad. Ese deterioro se evidencia en los sistemas de apoyo clínico y la carga simbólica derivada de que un algoritmo las etiquete reiteradamente como casos "atípicos", debido a que fue desarrollado principalmente con datos correspondientes a personas sin discapacidad o consideradas neurotípicas. La falta de representatividad de los datos puede provocar que los sistemas de inteligencia artificial ignoren a las personas con discapacidad, generando resultados discriminatorios.

### 3.1. Discriminación algorítmica por razón de género

La investigación sobre el sesgo de género en la inteligencia artificial representa una de las áreas de estudio más consolidadas dentro de la literatura analizada. Flores Anarte (2023) estudia la manera en que los sistemas de IA pueden reproducir los estereotipos de género incorporados en los datos utilizados para su entrenamiento, exponiendo casos relacionados con la traducción automática y el reconocimiento de voz, en los que se atribuyen sistemáticamente determinadas profesiones en función del género gramatical, aun cuando la lengua de origen no contenga marcas explícitas de género. El trabajo explica la existencia de discriminación algorítmica por razón de sexo cuando el funcionamiento del sistema ocasiona a las mujeres un perjuicio significativo y reiterado, carente de una justificación objetiva y proporcional, que afecta derechos como el acceso al empleo.

Complementando lo expuesto sobre el sesgo algorítmico de género, Pérez-Ugena Coromina (2024) identifica tres vías principales mediante las cuales puede generarse dicho sesgo: la primera corresponde al sesgo de muestreo, originado por la representación desigual de hombres y mujeres en los datos utilizados para entrenar el sistema; la segunda consiste en la reproducción de prejuicios preexistentes, que tiene lugar cuando el algoritmo aprende y replica asociaciones discriminatorias arraigadas en la sociedad; y la tercera es el sesgo de interacción, producido cuando el uso del sistema por parte de las personas usuarias contribuye a retroalimentar y consolidar el patrón discriminatorio inicial. La autora destaca que la perspectiva de género debe integrarse desde las primeras etapas de diseño del sistema, en lugar de incorporarse únicamente como una medida correctiva posterior a su implementación.

Lousada Arochena (2024) plantea si la discriminación algorítmica requiere una revisión de las categorías tradicionales del derecho antidiscriminatorio, a partir de un caso ya consolidado en la literatura sobre un sistema de selección de personal desarrollado con currículos históricos de una empresa tecnológica en los que predominaban los hombres entre las personas contratadas para cargos técnicos. A partir de esos datos, el algoritmo dedujo que el sexo masculino constituía una característica implícitamente vinculada con el desempeño de tales funciones y, en consecuencia, sancionó de manera sistemática los currículos que contenían referencias a organizaciones o actividades relacionadas con mujeres. Este ejemplo ilustra cómo un sistema algorítmico puede generar discriminación indirecta por razón de sexo, aun cuando ninguna variable relativa al género se encuentre incorporada expresamente en sus parámetros.

### 3.2. Discriminación algorítmica por razón de discapacidad

De acuerdo con la bibliografía examinada, las personas con discapacidad muestran una vulnerabilidad algorítmica diferenciada, producto de la concurrencia de dos elementos: (i) la insuficiente inclusión de la diversidad funcional en los conjuntos de datos de entrenamiento y (ii) la propensión de múltiples sistemas a funcionar con un estándar implícito de "cuerpo capacitado", de modo que toda divergencia respecto de ese patrón es leída como una anomalía estadística.

Álvarez García (2023) sostiene que esta doble condición sitúa a las personas con discapacidad en un escenario de exclusión agravada: de una parte, la brecha digital generada por la inaccesibilidad de numerosas interfaces tecnológicas; de otra, el sesgo algorítmico en sentido estricto, visible en sistemas de reconocimiento facial que cometen errores con mayor frecuencia al interpretar expresiones faciales atípicas, así como en aplicaciones de procesamiento del lenguaje natural que clasifican como "tóxicos" contenidos que únicamente aluden a la discapacidad.

Tilmes (2022) profundiza en el ámbito concreto de la contratación laboral, sosteniendo que las estrategias de equidad algorítmica fundadas únicamente en la paridad estadística entre grupos resultan insuficientes cuando se trata de personas con discapacidad, dado que esta no es una categoría binaria ni homogénea, sino un espectro de condiciones marcadamente heterogéneo. Frente a ello, el autor propone reforzar los mecanismos técnicos de mitigación del sesgo con ajustes razonables individualizados, trasladando al entorno algorítmico un principio ya consolidado en el derecho antidiscriminatorio en materia de discapacidad.

En la misma línea, El Morr et al. (2024) proponen adoptar el modelo social de la discapacidad como fundamento del desarrollo de la inteligencia artificial. Desde esta perspectiva, la discapacidad no constituye una deficiencia inherente a la persona, sino que surge de la interacción entre esta y un entorno, incluidos los sistemas algorítmicos, que no ha sido adecuadamente adaptado a sus necesidades. El énfasis recae, en consecuencia, en soluciones de carácter técnico, como interfaces adaptadas, sistemas de reconocimiento o dispositivos de apoyo, orientadas a eliminar barreras de uso en entornos digitales y físicos.

### 3.3. Discriminación algorítmica en la justicia penal

La justicia penal se ha convertido en un escenario central del debate sobre discriminación algorítmica, en buena medida por la polémica generada por el sistema COMPAS, utilizado en varios estados de Estados Unidos para estimar la probabilidad de reincidencia delictiva. Roa Avella et al. (2022) documentan que las investigaciones periodísticas y académicas encontraron que, entre las personas que no reincidieron, las afrodescendientes tenían una probabilidad significativamente mayor que las blancas de haber sido clasificadas erróneamente como de "alto riesgo", mientras que las personas blancas que sí reincidieron eran clasificadas con mayor frecuencia como de bajo riesgo.

Los autores sostienen que el caso State v. Loomis, en el que se admitió la utilización de un algoritmo de código cerrado como fundamento para determinar una sentencia, evidencia una problemática esencial respecto del principio de igualdad ante la ley: al estar protegido el funcionamiento del sistema por el secreto comercial de su desarrollador, la defensa no pudo conocer

ni examinar la lógica interna del algoritmo, lo que restringió el ejercicio efectivo del derecho de contradicción.

Roa Avella et al. (2022) concluyen que la ausencia de transparencia algorítmica en materia penal no solo afecta la igualdad y la prohibición de discriminación, sino que también puede vulnerar garantías procesales fundamentales, entre ellas el debido proceso y el derecho a la defensa, y proponen prohibir o, al menos, someter a estrictos límites el empleo de algoritmos de código cerrado en decisiones judiciales susceptibles de afectar la libertad personal.

### 3.4. Discriminación algorítmica en el ámbito sanitario

En el ámbito sanitario, los estudios recientes alertan sobre el riesgo de que los algoritmos de apoyo a la decisión clínica produzcan sesgos estructurales. Amaya-Santos et al. (2024), desde un enfoque interseccional, muestran que cuando estos sistemas se entrenan con historiales médicos que subrepresentan a ciertos grupos —mujeres, minorías étnicas y personas de escasos recursos— tienden a perpetuar desigualdades ya existentes en el acceso y la calidad de la atención, pudiendo generar diagnósticos menos precisos o recomendaciones terapéuticas menos adecuadas para esas poblaciones.

Calahorrano Latorre (2025), desde una perspectiva jurídico-dogmática, complementa este análisis mediante la propuesta de mecanismos destinados a prevenir prácticas discriminatorias en la adopción de decisiones clínicas apoyadas en inteligencia artificial, entre los que se encuentran la validación externa y obligatoria de los sistemas antes de su implementación en entornos clínicos, la posibilidad de rastrear las variables utilizadas para generar una recomendación algorítmica y el reconocimiento del derecho del paciente a solicitar que la decisión sea revisada por un profesional humano. El autor señala que la confianza del paciente y la confiabilidad del sistema se debilitan cuando la herramienta funciona como una "caja negra", es decir, cuando su funcionamiento interno no puede ser comprendido ni explicado al personal sanitario ni al paciente.

Desde un enfoque filosófico, Morales Ramírez (2023) sitúa el sesgo algorítmico dentro de una antropología del pensamiento automático, señalando que la supuesta neutralidad de los algoritmos encubre elecciones de diseño con carga valorativa —como la selección de variables, la definición de qué cuenta como resultado "exitoso" o el umbral de error tolerable— que, en el fondo, reproducen la cosmovisión de quienes diseñan e implementan estos sistemas. Según la autora, la equidad algorítmica no puede entenderse como un mero ajuste técnico-estadístico, sino que exige una deliberación ética explícita sobre los valores que deben guiar el diseño de sistemas que inciden en derechos fundamentales.

### 3.5. El marco regulatorio europeo como respuesta normativa

El Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, denominado AI Act, representa uno de los avances regulatorios más significativos señalados por la literatura contemporánea. Martínez Navarro (2025) explica que la normativa clasifica los sistemas de inteligencia artificial en función del nivel de riesgo que representan, prohibiendo de manera expresa

las prácticas de puntuación social (social scoring) y el uso de sistemas que se aprovechen de las condiciones de vulnerabilidad de determinados grupos, especialmente cuando estas se relacionan con la edad, la discapacidad o la situación socioeconómica.

Asimismo, el reglamento exige identificar, valorar y prevenir los posibles daños que los sistemas de IA de alto riesgo puedan ocasionar a las personas o colectivos en situación de vulnerabilidad, incluyendo expresamente la accesibilidad para las personas con discapacidad y la promoción de la igualdad de género dentro de los aspectos que deben considerarse en dicha evaluación.

Capellà i Ricart (2024) valora el Reglamento (UE) 2024/1689 de forma favorable por reconocer, aunque de manera aún incipiente, el carácter estructural de la discriminación algorítmica, al imponer evaluaciones de impacto sobre derechos fundamentales para los sistemas de alto riesgo. No obstante, advierte que el texto sigue anclado en una lógica predominantemente anticlasificatoria y de gestión de riesgos individuales, sin integrar plenamente enfoques antisubordinatorios que aborden la dimensión colectiva y estructural del problema, como la concentración de poder informacional en pocos proveedores tecnológicos o la retroalimentación entre sistemas de distintos sectores, que puede amplificar a escala social patrones de exclusión que en cada aplicación individual parecen menores.

### 3.6. Experiencias regulatorias emergentes fuera del contexto europeo

Conviene situar el Reglamento (UE) 2024/1689 dentro de un panorama regulatorio más amplio y todavía en formación. En Brasil, el Proyecto de Ley 2338/2023, aprobado por el Senado Federal el 10 de diciembre de 2024 y remitido a la Cámara de Diputados, donde a la fecha de cierre de este capítulo continúa en tramitación en una comisión especial (Senado Federal de Brasil, 2023), propone, a semejanza del modelo europeo, una clasificación de los sistemas de IA en función del riesgo —que distingue los usos de riesgo excesivo, prohibidos, de los de alto riesgo, sujetos a obligaciones reforzadas—, la creación de un Sistema Nacional de Regulación y Gobernanza de la Inteligencia Artificial coordinado por la Autoridad Nacional de Protección de Datos y el reconocimiento expreso de un catálogo de derechos de las personas afectadas, entre ellos los derechos a la explicación, a la impugnación y a la revisión humana de las decisiones automatizadas, así como a la no discriminación ilícita o abusiva y a la corrección de sesgos discriminatorios.

A diferencia del AI Act, el proyecto brasileño incorpora, además, un régimen específico de responsabilidad civil y reglas sobre la remuneración por el uso de contenidos protegidos en el entrenamiento de los modelos, lo que refleja una síntesis particular entre la lógica europea de gestión de riesgos y preocupaciones propias del contexto latinoamericano.

En los Estados Unidos, ante la ausencia de una legislación federal integral, la respuesta regulatoria se ha desplazado hacia el nivel estatal, siendo Colorado el caso más representativo. La Ley de Inteligencia Artificial de Colorado (SB 24-205), sancionada en 2024, imponía a los desarrolladores y a los implementadores de sistemas de IA de alto riesgo un deber de diligencia razonable para proteger a las personas consumidoras frente a la discriminación algorítmica en

decisiones consecuentes relativas al empleo, la vivienda, la salud, el crédito o los servicios legales (Estado de Colorado, 2024).

Este marco fue objeto de sucesivas postergaciones y, finalmente, derogado y reemplazado en mayo de 2026 por la Ley de Tecnología de Decisión Automatizada (SB 26-189), aplicable a partir del 1 de enero de 2027, de alcance más acotado y centrada en obligaciones de transparencia, aviso previo al consumidor, explicación tras una decisión adversa, corrección de datos y revisión humana, y que atribuye la responsabilidad por discriminación conforme al derecho antidiscriminatorio estatal general (Estado de Colorado, 2026).

La trayectoria regulatoria de Colorado ilustra una tensión que la literatura revisada también documenta para el contexto europeo: la dificultad de sostener, en el tiempo y frente a la presión de la industria, obligaciones robustas de gestión de riesgos y auditoría orientadas específicamente a la no discriminación algorítmica, frente a modelos más limitados centrados en la transparencia y la notificación.

Estas experiencias, aunque todavía incipientes y sujetas a modificaciones, confirman que el problema de la discriminación algorítmica no es privativo del contexto europeo y que existen, al menos, dos vías regulatorias alternativas: una de corte integral y preventivo, inspirada en la gestión de riesgos por niveles (Unión Europea, Brasil), y otra de corte más sectorial y reactivo, centrada en deberes de cuidado, transparencia y remedios individuales (Estados Unidos). Para América Latina, la experiencia brasileña constituye un referente comparado directo que, sin embargo, contrasta con la práctica ausencia de proyectos normativos equivalentes en la mayoría de los países de la región.

Más allá de esta clasificación general, las diferencias sustantivas entre los tres modelos tienen implicaciones directas para la protección del principio de igualdad (Tabla 5). En primer lugar, difieren en el *fundamento* de la protección: el Reglamento (UE) 2024/1689 se estructura como una norma de seguridad de producto basada en la gestión de riesgos, en la que la no discriminación figura entre los derechos fundamentales que deben protegerse, pero no como su eje organizador; el proyecto brasileño, en cambio, enuncia de forma expresa un catálogo de derechos de las personas afectadas que incluye la no discriminación y la corrección de sesgos; y la ley vigente en Colorado se limita a garantizar transparencia y vías de revisión, remitiendo la tutela antidiscriminatoria sustantiva a la legislación general.

En segundo lugar, difieren en el *momento* de la intervención: los modelos europeo y brasileño son preventivos, pues exigen evaluar y mitigar riesgos antes del despliegue, mientras que el modelo de Colorado es predominantemente reactivo y se activa tras una decisión adversa.

En tercer lugar, difieren en la *distribución de la carga*: en los dos primeros, la obligación de detectar y mitigar sesgos recae principalmente en proveedores e implementadores, mientras que en el tercero la iniciativa recae, en buena medida, en la persona afectada, que debe solicitar explicaciones, corrección o revisión humana. Desde la perspectiva antisubordinatoria descrita por Capellà i Ricart (2024), esta diferencia es decisiva: los modelos reactivos e individualizados son estructuralmente menos aptos para captar la discriminación sistémica y acumulativa, porque

dependen de que las personas afectadas, con frecuencia, las que menos recursos tienen para ello, identifiquen el daño y lo reclamen.

**Tabla 5**

*Comparación de los modelos regulatorios analizados desde la perspectiva del principio de igualdad*

| Dimensión | Unión Europea: Reglamento (UE) 2024/1689 | Brasil: Proyecto de Ley 2338/2023 | Colorado: SB 24-205 y SB 26-189 |
|---|---|---|---|
| **Estado normativo** | En vigor desde el 1 de agosto de 2024, con aplicación escalonada | Aprobado por el Senado (2024); en tramitación en la Cámara de Diputados | SB 24-205 derogada antes de su aplicación; SB 26-189 aplicable desde el 1 de enero de 2027 |
| **Lógica regulatoria** | Gestión de riesgos por niveles, con enfoque de seguridad de producto | Gestión de riesgos por niveles combinada con un catálogo de derechos | Transparencia y garantías procedimentales frente a decisiones automatizadas |
| **Momento de intervención** | Preventivo (ex ante) | Preventivo (ex ante) y reparador | Predominantemente reactivo (ex post) |
| **Tratamiento de la no discriminación** | Derecho fundamental protegido mediante gestión de riesgos, gobernanza de datos y evaluación de impacto | Derecho expreso a la no discriminación ilícita o abusiva y a la corrección de sesgos | Remitida al derecho antidiscriminatorio estatal general |
| **Derechos de las personas afectadas** | Explicación de decisiones individuales adoptadas con sistemas de alto riesgo y reclamación ante la autoridad | Explicación, impugnación y revisión humana | Aviso previo, explicación tras decisión adversa, corrección de datos y revisión humana |
| **Supervisión** | Autoridades nacionales de vigilancia y Oficina Europea de IA | Sistema Nacional de Regulación y Gobernanza de la IA, coordinado por la autoridad de protección de datos | Fiscalía General del estado |
| **Implicación para la igualdad** | Protección preventiva, pero centrada en riesgos individuales; integración incompleta de la dimensión estructural | Mayor protección sustantiva, condicionada a su aprobación definitiva | Protección dependiente de la iniciativa individual; débil frente a la discriminación estructural |

*Nota.* El estado normativo corresponde a la fecha de cierre del capítulo (octubre de 2026). Elaboración propia a partir de Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2024), Senado Federal de Brasil (2023), Estado de Colorado (2024, 2026) y Martínez Navarro (2025).

El análisis del corpus documental revela vacíos de conocimiento que deben orientar la agenda investigativa futura. En primer lugar, se evidencia una marcada asimetría geográfica: la mayor parte de los estudios se concentra en la Unión Europea, el Reino Unido y Estados Unidos, mientras que la producción académica sobre discriminación algorítmica en América Latina es comparativamente reducida, pese a que diversos países de la región ya implementan sistemas de inteligencia artificial en ámbitos sensibles como la asignación de subsidios sociales o la vigilancia policial predictiva; solo en Colombia, por ejemplo, se han documentado más de un centenar de sistemas de decisión automatizada en entidades públicas (Gutiérrez & Castellanos, 2023).

Salvo la excepción parcial del proyecto de ley brasileño, la región carece de marcos normativos específicos en materia de discriminación algorítmica comparables al Reglamento (UE) 2024/1689, lo que se traduce en un doble déficit: escasa evidencia empírica sobre el funcionamiento efectivo de los sistemas desplegados en la región y ausencia de estándares jurídicos propios frente a los cuales evaluar dicho funcionamiento.

Esta concentración limita la capacidad de la literatura para reflejar las particularidades socioeconómicas, institucionales y de infraestructura de datos de contextos con menor capacidad regulatoria, y plantea el riesgo de que las soluciones técnicas y normativas diseñadas para contextos europeos o estadounidenses se trasladen de forma acrítica a realidades institucionales sustancialmente distintas.

En segundo término, subsiste una fragmentación metodológica entre los enfoques jurídico-doctrinales, que analizan el fenómeno desde la interpretación normativa sin incorporar evidencia empírica sobre el funcionamiento efectivo de los sistemas, y los estudios técnicos de equidad algorítmica, que suelen reducir la noción de discriminación a la paridad estadística entre grupos, sin profundizar en las categorías jurídicas de discriminación directa, indirecta o por asociación. La literatura revisada apunta a la necesidad de fortalecer el diálogo metodológico entre ambas tradiciones, de modo que los estándares jurídicos de igualdad se traduzcan en métricas técnicas auditables y, a la inversa, los hallazgos de las auditorías algorítmicas adquieran sentido jurídico.

En tercer lugar, se observa una laguna en torno a la discriminación algorítmica interseccional. Aunque investigaciones recientes, como la de Amaya-Santos et al. (2024), han comenzado a examinar de qué manera la combinación de múltiples categorías de vulnerabilidad agrava el riesgo de discriminación, la mayoría de las métricas técnicas de equidad siguen concebidas para evaluar una única variable protegida de forma aislada. Esto obstaculiza la identificación de patrones de discriminación compuesta, los cuales únicamente se hacen evidentes al analizar subgrupos definidos por la intersección de dos o más características.

En cuarto lugar, la literatura revela una atención desproporcionada entre los colectivos estudiados: mientras el género, la discapacidad y la raza cuentan con un tratamiento consolidado, las personas mayores y la infancia y adolescencia permanecen en un plano secundario. Los escasos trabajos disponibles sobre estos grupos tienden a enfocarse en riesgos colaterales como la privacidad, la manipulación comercial o el edadismo en sistemas de salud, sin articular de manera plena el análisis bajo el principio de igualdad y no discriminación. Esta asimetría se reproduce en el propio corpus analizado: ninguno de los estudios incluidos tiene como objeto principal a las personas mayores o a niñas, niños y adolescentes, y los colectivos migrante y afrodescendiente cuentan con un solo estudio cada uno (Iturmendi Rubia, 2023; Roa Avella et al., 2022).

Finalmente, se identifica un vacío de gobernanza relativo a los mecanismos efectivos de auditoría algorítmica externa, independiente y periódica. Aunque el Reglamento (UE) 2024/1689 establece obligaciones de evaluación de conformidad para los sistemas de alto riesgo, y el proyecto brasileño incorpora un organismo regulador con funciones análogas, la doctrina subraya que su aplicación real dependerá de la capacidad institucional de los organismos de supervisión, aún en

proceso de configuración, así como de la disponibilidad de metodologías de auditoría estandarizadas y del acceso efectivo de investigadores independientes a los sistemas evaluados.

Hasta ahora, estos avances han enfrentado barreras derivadas del secreto comercial y de la protección de la propiedad intelectual de los desarrolladores, tal como ilustra el caso COMPAS documentado por Roa Avella et al. (2022). La literatura coincide en que, sin acceso técnico efectivo a los sistemas, más allá de la mera obligación formal de someterlos a evaluación, la auditoría algorítmica corre el riesgo de convertirse en un requisito documental antes que, en una garantía sustantiva de no discriminación, lo que exige a los organismos de supervisión desarrollar capacidades técnicas propias, y no depender exclusivamente de la autoevaluación reportada por los proveedores de los sistemas.

## 4. Discusión

La principal aportación de esta revisión no reside en identificar casos nuevos de discriminación algorítmica, sino en integrar, bajo el prisma del principio de igualdad, una evidencia hasta ahora fragmentada por disciplinas y sectores, y en ofrecer un esquema (Tabla 4) que permite distinguir analíticamente sus mecanismos de producción y sus formas jurídicas. Para interpretar correctamente este aporte es necesario diferenciar dos niveles en los hallazgos.

El primero corresponde a lo *documentado empíricamente*: la existencia de disparidades verificadas en sistemas concretos, como la clasificación diferencial del riesgo de reincidencia en COMPAS (Roa Avella et al., 2022) o la penalización de currículos asociados a mujeres en un sistema de selección de personal (Lousada Arochena, 2024), y la identificación de mecanismos de sesgo concretos, de muestreo, de reflejo de prejuicios y de interacción (Pérez, 2024).

El segundo corresponde a *construcciones interpretativas* derivadas de la síntesis teórica: la caracterización de la discriminación algorítmica como fenómeno estructural, la tesis de la "monocultura algorítmica" (Capellà i Ricart, 2024) o la idea de que los sistemas de IA tienden a amplificar, más que a corregir, las desigualdades preexistentes. Estas últimas proposiciones cuentan con respaldo convergente en la literatura revisada, pero descansan mayoritariamente en argumentación doctrinal y en la extrapolación a partir de un número limitado de casos paradigmáticos, por lo que deben entenderse como hipótesis interpretativas plausibles y no como generalizaciones empíricamente demostradas.

La comparación entre autores revela, además, divergencias que no deben minimizarse. La primera enfrenta a quienes confían en la corrección técnica del sesgo con quienes la consideran insuficiente. Calahorrano Latorre (2025) y El Morr et al. (2024) privilegian soluciones centradas en la representatividad de los datos, la validación externa de los sistemas y el diseño de tecnologías accesibles; Tilmes (2022), en cambio, advierte que la paridad estadística entre grupos resulta inadecuada para un colectivo tan heterogéneo como el de las personas con discapacidad y propone complementarla con ajustes razonables individualizados; y Morales Ramírez (2023) y Capellà i Ricart (2024) sostienen que ninguna calibración técnica es suficiente sin una deliberación explícita

sobre los valores incorporados en el diseño y sin alterar las estructuras de poder que determinan quién diseña los sistemas, con qué finalidad y bajo qué modelo de negocio.

La elección no es neutral en términos de política pública: privilegiar exclusivamente la auditoría técnica traslada la carga hacia estándares de ingeniería que los organismos de supervisión de la región todavía no han desarrollado, mientras que privilegiar exclusivamente la limitación normativa de usos puede resultar insuficiente frente a sistemas ya desplegados cuyo funcionamiento interno permanece opaco.

La segunda divergencia se refiere a la capacidad del derecho antidiscriminatorio vigente para abordar el fenómeno. Adams-Prassl et al. (2023) sostienen que buena parte de los casos puede reconducirse a la categoría tradicional de discriminación directa cuando el algoritmo opera como un sustituto prácticamente perfecto de una característica protegida. Lousada Arochena (2024) se pregunta, por el contrario, si es necesario un concepto autónomo de discriminación algorítmica, y Capellà i Ricart (2024) va más allá al sostener que el enfoque anticlasificatorio, centrado en casos individuales, es estructuralmente incapaz de captar los efectos acumulativos de varios sistemas aparentemente neutros sobre un mismo grupo.

El contraste sugiere que el derecho vigente es relativamente eficaz frente a la discriminación directa y frente a la indirecta claramente identificable, pero débil frente a la discriminación sistémica, que es precisamente la que la literatura considera más característica de los entornos algorítmicos.

Estas divergencias se proyectan sobre el debate regulatorio. La literatura revisada coincide en que una obligación normativa de evaluación, como la prevista en el Reglamento (UE) 2024/1689 o en el proyecto de ley brasileño, constituye una condición necesaria, pero no suficiente: el caso COMPAS muestra que el secreto comercial puede neutralizar el derecho de defensa incluso en jurisdicciones con reglas procesales garantistas (Roa Avella et al., 2022), y la trayectoria de Colorado ilustra cómo los mecanismos más exigentes de gestión de riesgos tienden a debilitarse ante la presión de la industria cuando carecen de respaldo institucional.

La eficacia de la auditoría algorítmica depende, por tanto, menos de la existencia formal de la obligación que de su diseño concreto: acceso técnico efectivo de auditores independientes a los sistemas, periodicidad de la revisión, consecuencias jurídicas claras ante el incumplimiento y canales accesibles para que los propios colectivos afectados puedan activarla.

La escasez de evidencia latinoamericana tiene, a su vez, implicaciones metodológicas que condicionan la transferibilidad de estos hallazgos a la región. En primer lugar, los mecanismos de producción del sesgo dependen del contexto de los datos: en países con altos niveles de informalidad laboral, subregistro estadístico de poblaciones indígenas y afrodescendientes o brechas de conectividad, los sesgos de muestreo y de medición pueden adoptar formas y magnitudes distintas de las documentadas en Europa o Estados Unidos, de modo que la ausencia de estudios regionales no equivale a la ausencia del problema, sino al desconocimiento de su configuración específica.

En segundo lugar, los remedios propuestos por la literatura, auditorías independientes, evaluaciones de impacto, autoridades de supervisión especializadas, presuponen una capacidad

institucional que no puede darse por supuesta; la evidencia colombiana muestra, por ejemplo, que aun existiendo normas que exigen transparencia algorítmica, los repositorios públicos de algoritmos resultan incompletos e inconsistentes y el acceso al código de los sistemas se ha denegado por razones de privacidad, seguridad o propiedad intelectual (Gutiérrez & Castellanos, 2023).

En tercer lugar, el reducido número de estudios latinoamericanos del corpus, dos de los cuales analizan marcos normativos o casos extranjeros, impide distinguir qué hallazgos son generalizables y cuáles son propios de los contextos de origen; trabajos regionales sobre racismo algorítmico, como el de Silva (2023) en Brasil, sugieren además que los ejes de raza y clase pueden tener en la región un peso relativo distinto del que les asigna la literatura europea. Por ello, respecto de América Latina, las conclusiones de esta revisión deben leerse como hipótesis de trabajo que requieren contraste empírico local, y no como diagnósticos directamente aplicables.

Finalmente, la interpretación de estos resultados debe considerar tres limitaciones del conocimiento disponible. La primera es la dependencia de la literatura doctrinal: la mayor parte del corpus está compuesta por estudios jurídico-doctrinales, teóricos o filosóficos, y ninguno de los trabajos incluidos consiste en una auditoría directa de sistemas desplegados en contextos reales. Ello implica que muchas afirmaciones sobre el funcionamiento discriminatorio de los sistemas descansan en un reducido número de casos paradigmáticos —COMPAS o el cribado curricular sesgado por género— que se reiteran entre autores, con el consiguiente riesgo de circularidad argumentativa, y que la literatura jurídica tiende a razonar sobre riesgos potenciales más que sobre efectos medidos.

Los estudios empíricos recientes ajenos al corpus, como las auditorías de modelos de lenguaje en procesos de selección (An et al., 2025; Wilson & Caliskan, 2024) o los análisis de modelos de diagnóstico por imagen que muestran que la equidad alcanzada en un entorno no se mantiene necesariamente en otros hospitales y poblaciones (Yang et al., 2024), confirman la existencia de disparidades, pero también evidencian que su dirección y su magnitud varían según el sistema, el contexto y el subgrupo, lo que aconseja cautela frente a las generalizaciones.

La segunda limitación es el desarrollo desigual de los colectivos analizados: el género, la discapacidad y la justicia penal concentran la mayor parte de la evidencia, mientras que las personas mayores y la infancia y adolescencia, aunque mencionadas como colectivos vulnerables, carecen de estudios específicos en el corpus, y las personas migrantes y afrodescendientes cuentan con un solo estudio cada una; los hallazgos, por tanto, no pueden extenderse sin más a estos grupos. La tercera es la escasez de estudios longitudinales que evalúen si las medidas de mitigación reducen efectivamente la discriminación a lo largo del tiempo, unida a la persistente dificultad para traducir el concepto jurídico de discriminación indirecta en métricas computacionalmente auditables.

## 5. Conclusiones

1. La evidencia revisada permite afirmar que los sistemas de inteligencia artificial pueden reproducir y, en determinadas condiciones, amplificar desigualdades presentes en los datos de entrenamiento, con efectos desproporcionados documentados sobre mujeres, personas

con discapacidad y personas afrodescendientes en los ámbitos del empleo, la salud y la justicia penal. La caracterización de la discriminación algorítmica como un riesgo estructural, y no meramente incidental, para el principio de igualdad constituye, en cambio, una conclusión interpretativa de la síntesis teórica, ampliamente compartida por la literatura doctrinal, pero que requiere mayor contraste empírico en sistemas desplegados en contextos reales.

2. La revisión evidencia que la discriminación algorítmica adopta manifestaciones sectoriales específicas en el empleo, la salud, la justicia penal y la protección migratoria, cuyos mecanismos de producción y cuyas consecuencias jurídicas no pueden analizarse de manera uniforme, lo que exige marcos de intervención regulatoria y técnica sensibles a las particularidades de cada ámbito de aplicación.

3. La distinción entre sesgo algorítmico, inequidad estadística, discriminación algorítmica y vulneración del principio de igualdad permite situar con precisión cada hallazgo, y los enfoques teóricos anticlasificatorio, antisubordinatorio, interseccional y de justicia distributiva ofrecen lentes complementarias, más que excluyentes, para comprender el fenómeno, según se sintetiza en la Tabla 4; su integración resulta necesaria para abordar tanto las manifestaciones individuales de discriminación directa como sus efectos estructurales y acumulativos sobre grupos históricamente subordinados, incluida la discriminación compuesta, que las métricas de equidad centradas en una sola variable no logran detectar.

4. El análisis comparado muestra dos vías regulatorias con implicaciones distintas para la igualdad: una preventiva, basada en la gestión de riesgos por niveles (Unión Europea y Brasil), y otra predominantemente reactiva, centrada en la transparencia y en remedios individuales (Colorado). La primera ofrece una protección más robusta frente a la discriminación estructural, especialmente cuando, como en el proyecto brasileño, se acompaña de derechos expresos de no discriminación; sin embargo, en ambos casos su eficacia real dependerá de la capacidad institucional para desarrollar mecanismos de auditoría algorítmica externa, independiente y con acceso efectivo a los sistemas evaluados, un desafío de gobernanza todavía pendiente de resolución.

5. La contribución original de esta revisión consiste en sistematizar, bajo un marco común centrado en el principio de igualdad, evidencia dispersa entre disciplinas y sectores de aplicación; en ofrecer, a través de la Tabla 4, un esquema integrado que relaciona explícitamente los enfoques teóricos, los mecanismos de producción del sesgo y las manifestaciones sectoriales de la discriminación algorítmica; y en examinar comparativamente los modelos regulatorios europeo, brasileño y de Colorado, así como las condiciones de transferibilidad de la evidencia a América Latina.

6. Entre las limitaciones más relevantes del conocimiento existente destacan el predominio de estudios doctrinales sobre estudios empíricos de sistemas desplegados, la concentración geográfica de la evidencia en contextos europeos y estadounidenses, la escasez de estudios sobre discriminación algorítmica interseccional y el desarrollo desigual de los colectivos

analizados: las personas mayores y la infancia y adolescencia carecen de estudios específicos en el corpus, y las personas migrantes y afrodescendientes cuentan con evidencia muy limitada, por lo que las conclusiones anteriores no pueden extrapolarse a estos grupos sin investigación adicional.

### 5.1. Recomendaciones e implicaciones normativas

Las recomendaciones que siguen no se derivan directamente de la evidencia revisada, sino que constituyen propuestas de carácter normativo elaboradas a partir de la síntesis realizada. Se presentan separadas de las conclusiones para distinguir con claridad lo que la literatura permite afirmar de lo que, a juicio de quien escribe, debería hacerse.

1. Se recomienda a los órganos legislativos de la región que, al diseñar marcos normativos sobre inteligencia artificial, incorporen de manera expresa un deber de no discriminación algorítmica exigible frente a sistemas de alto riesgo desplegados en sectores sensibles (salud, empleo, justicia penal, programas sociales), tomando como referentes comparados tanto el Reglamento (UE) 2024/1689 como el Proyecto de Ley 2338/2023 de Brasil y la evolución reciente de la legislación estatal de Colorado, evaluando críticamente las fortalezas y debilidades de cada modelo antes de trasplantarlo.
2. Se recomienda a los organismos de control y supervisión que desarrollen capacidades técnicas propias para la auditoría algorítmica independiente, que no dependan exclusivamente de la autoevaluación reportada por los proveedores de los sistemas, y que habiliten canales accesibles para que los colectivos vulnerables y sus representantes puedan solicitar la revisión de decisiones automatizadas que los afecten, incorporando expresamente el principio de ajustes razonables para las personas con discapacidad.
3. Se recomienda a las personas y equipos desarrolladores de sistemas de inteligencia artificial adoptar prácticas de equidad desde el diseño (fairness by design), documentar de manera trazable el origen y la representatividad de los datos de entrenamiento, incorporar pruebas de equidad interseccional, y no únicamente evaluaciones de paridad estadística sobre una sola variable protegida, y habilitar mecanismos efectivos de revisión humana ante decisiones consecuentes para las personas afectadas.
4. Se recomienda que futuras líneas de investigación profundicen en estudios empíricos y comparados en contextos latinoamericanos, incluyendo el seguimiento de la tramitación del Proyecto de Ley 2338/2023 en Brasil y de eventuales iniciativas similares en otros países de la región, en el desarrollo de métricas de equidad algorítmica capaces de capturar la discriminación interseccional, y en la construcción de metodologías de auditoría que traduzcan de manera operativa las categorías jurídicas de discriminación directa e indirecta al lenguaje técnico de la ingeniería de sistemas, favoreciendo así un diálogo interdisciplinario más robusto entre el derecho, la ética y la ciencia de datos.

## Referencias bibliográficas


Adams-Prassl, J., Binns, R., & Kelly-Lyth, A. (2023). Algoritmos directamente discriminatorios. *The Modern Law Review, 86*(1), 144-175. https://doi.org/10.1111/1468-2230.12759

Álvarez García, H. (2023). La discriminación algorítmica por razón de discapacidad. *Revista Internacional de Pensamiento Político*(18), 15-39. https://doi.org/10.46661/revintpensampolit.8103

Amaya-Santos, S., Jiménez-Pernett, J., & Bermúdez-Tamayo, C. (2024). ¿Salud para quién? Interseccionalidad y sesgos de la inteligencia artificial para el diagnóstico clínico. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra, 47(2), e1077. https://doi.org/10.23938/ASSN.1077*

An, J., Huang, D., Chen, L., & Tai, M. (2025). Medición de sesgos de género y raciales en modelos lingüísticos a gran escala: evidencia interseccional a partir de la evaluación automatizada de currículos. *PNAS Nexus, 4*(3), 1-14. https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgaf089

Braun, V., & Clarke, V. (2021). Thematic analysis: A practical guide. SAGE.

Calahorrano Latorre, E. (2025). Equidad algorítmica y decisiones clínicas basadas en sistemas de soporte basados en inteligencia artificial. *Nuevo Derecho, 21*(36), 1-17. https://doi.org/10.25057/2500672X.1691

Capellà i Ricart, A. (2024). Antisubordinación y discriminación algorítmica. *Revista Pensamiento Jurídico*(37), 214-237. https://doi.org/10.36151/TD.2024.112

El Morr, C., Kundi, B., Sara Taleghani, F. M., El-Lahib, Y., & Gorman, R. (2024). Inteligencia artificial y discapacidad: una revisión sistemática exploratoria. *Sage Journals*(1), 1-24. https://doi.org/10.1177/1460458224128574

Estado de Colorado. (2024, 17 de mayo). Senate Bill 24-205. https://leg.colorado.gov/bills/sb24-205

Estado de Colorado. (2026, 14 de mayo). Senate Bill 26-189. https://leg.colorado.gov/bills/sb26-189

Flores Anarte, L. (2023). Sesgos de género en la inteligencia artificial: El estado de derecho frente a la discriminación algorítmica por razón de sexo. *Revista Internacional de Pensamiento Político*(18), 97-122. https://doi.org/10.46661/revintpensampolit.8778

Foulds, J. R., Islam, R., Naher Keya, K., & Pam, S. (2020). Una definición interseccional de equidad. *2020 IEEE 36th International Conference on Data Engineering (ICDE).* Dallas: IEEE. https://doi.org/10.1109/ICDE48307.2020.00203

Gutiérrez, J. D., & Castellanos Sánchez, M. (2023). Transparencia algorítmica y estado abierto en Colombia. *Reflexión Política, 25(52), 6-21*. https://doi.org/10.29375/01240781.4789

Iturmendi Rubia, J. M. (2023). La discriminación algorítmica y su impacto en la dignidad de la persona y los derechos humanos. Especial referencia a los migrantes. *Deusto Derechos Humanos*(11), 257-284. https://doi.org/10.18543/djhr.2910

Kearns, M., Neel, S., Roth, A., & Steven Wu, Z. (2018). Preventing Fairness Gerrymandering: Auditing and learning for subgroup fairness. *Proceedings on the 35th.* Stockholm: PMLR 80. https://proceedings.mlr.press/v80/kearns18a.html

Lousada Arochena, J. F. (2024). Inteligencia artificial y sesgos discriminatorios: ¿es necesario un nuevo concepto de discriminación algorítmica? *IgualdaDES*(11), 97-123. https://doi.org/10.18042/cepc/IgdES.11.04

Martínez Navarro, J. A. (2025). Inteligencia artificial, discriminación algorítmica y la respuesta normativa de la Unión Europea. *Ces Derecho, 16*(3), 4-20. https://doi.org/10.21615/cesder.7943

Morales Ramírez, G. (2023). Problemática antropológica detrás de la discriminación generada a partir de los algoritmos de inteligencia artificial. *Medicina y Ética, 2*(34), 429-480. https://doi.org/10.36105/mye.2023v34n2.04

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., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*(71), 1-9. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2024, 13 de junio). *Reglamento (UE) 2024/1689.* https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj

Pérez-Ugena Coromina, M. (2024). Sesgo de género en IA. *Revista en cultura de la legalidad*(26), 311-330. https://doi.org/10.20318/eunomia.2024.8515

Roa Avella, M. P., Sanabria Moyano, J., & Dinas Hurtado, K. (2022). Uso de algoritmos COMPAS en el proceso penal y los riesgos a los derechos humanos. *Revista Brasileira de Direito Processual Penal, 8*(1), 275-310. https://doi.org/10.22197/rbdpp.v8i1.615

Senado Federal de Brasil. (2023, 11 de agosto). *Proyecto de Ley 2338/2023.* https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/157233

Silva, T. (2023). Racismo algorítmico: Inteligencia artificial y discriminación en redes sociales. *Em favor de Igualdade racial, 6*(3), 188-192. https://doi.org/10.29327/269579.6.3-14

Tilmes, N. (2022). Discapacidad, equidad, y sesgo algorítmico en el reclutamiento mediante IA. *Ethics and Information Technology, 24*(21). https://doi.org/10.1007/s10676-022-09633-2

Wilson, K., & Caliskan, A. (2024). Gender, race, and intersectional bias in resume screening via language model retrieval. *Ética y Sociedad, 7*(1), 1578-1590. https://doi.org/10.1609/aies.v7i1.31748

Yang, Y., Zhang, H., Gichoya, J. W., Katabi, D., & Ghassemi, M. (2024). The limits of fair medical imaging AI in real-world generalization. *Nature Medicine, 30*(10), 2838–2848. https://doi.org/10.1038/s41591-024-03113-4



ISBN: 978-9907-9563-1-3