

Aprender a transformar: inteligencia artificial y proyectos transversales para valores y conciencia ambiental en la educación rural

Learning to transform: artificial intelligence and cross-curricular projects for environmental values and awareness in rural education

Imparare a trasformare: intelligenza artificiale e progetti trasversali per valori e consapevolezza ambientale nell'educazione rurale

Luz Amelia Rodríguez Parra ^I
lrodriguezp@unemi.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-5745-636X>

Diana Marcela Alvarez Forero ^{II}
dalvarezf@unemi.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-0442-0078>

Frans Andrés Recalde García ^{III}
frecaldeg@unemi.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0885-0432>

Correspondencia: lrodriguezp@unemi.edu.ec

Artículo de Investigación

*** Recibido:** 29 de julio de 2026 ***Aceptado:** 31 de agosto de 2026 *** Publicado:** 23 de septiembre de 2026

- I. Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Posgrado, Maestría en Inteligencia Artificial para la Educación, Milagro – Ecuador
- II. Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Posgrado, Maestría en Inteligencia Artificial para la Educación, Milagro – Ecuador
- III. Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Posgrado, Maestría en Inteligencia Artificial para la Educación, Milagro – Ecuador

Resumen

La integración de inteligencia artificial (IA), educación ambiental y proyectos transversales plantea oportunidades pedagógicas que adquieren rasgos particulares en escuelas rurales, donde las brechas de conectividad, la disponibilidad de dispositivos, la formación docente y la pertinencia cultural condicionan cualquier innovación. El objetivo de esta revisión fue analizar bajo qué condiciones pedagógicas, tecnológicas y contextuales la IA y los proyectos transversales pueden contribuir al desarrollo de valores y conciencia ambiental en educación básica y media rural. Se adoptó un enfoque cualitativo, de tipo documental-bibliográfico, desarrollado mediante revisión integradora de literatura y análisis cualitativo de contenido. La búsqueda principal se efectuó entre enero y marzo de 2025 en Scopus, Web of Science Core Collection, ERIC, SciELO Citation Index y PubMed, complementada con rastreo manual; se identificaron 847 registros y se incluyeron 62 documentos. En septiembre de 2026 se realizó una actualización de vigilancia bibliográfica destinada a verificar referencias y contextualizar desarrollos recientes, sin alterar retrospectivamente el corpus principal ni sus conteos PRISMA. La codificación fue mixta: cuatro categorías iniciales derivadas de la pregunta de investigación se refinaron mediante subcategorías emergentes durante la lectura comparativa. Los hallazgos muestran convergencias en torno a la mediación docente, el aprendizaje basado en proyectos vinculados con problemas locales, la participación comunitaria y el uso de tecnologías adaptadas a condiciones de baja conectividad. La evidencia directa sobre la combinación simultánea de IA, transversalidad curricular, valores ambientales y ruralidad sigue siendo limitada. Se propone un modelo relacional que sitúa la IA como mediación subordinada a objetivos pedagógicos, ambientales y comunitarios, y se delinearán prioridades para investigación longitudinal, co-diseño con comunidades rurales, protección de datos de menores y desarrollo de soluciones de bajo consumo tecnológico.

Palabras clave: alfabetización en IA; competencia para la sostenibilidad; escuela multigrado; conducta proambiental; innovación pedagógica; saberes locales.

Abstract

The integration of artificial intelligence (AI), environmental education, and cross-curricular projects creates pedagogical opportunities that take on distinctive features in rural schools, where connectivity gaps, device availability, teacher preparation, and cultural relevance shape the feasibility of innovation. This integrative review analyzed the pedagogical, technological, and

contextual conditions under which AI and cross-curricular projects may contribute to environmental values and awareness in rural primary and secondary education. A qualitative documentary-bibliographic approach was adopted through an integrative literature review and qualitative content analysis. The main search was conducted between January and March 2025 in Scopus, Web of Science Core Collection, ERIC, SciELO Citation Index, and PubMed, supplemented by manual reference tracking; 847 records were identified and 62 documents were included. In September 2026, a bibliographic surveillance update was undertaken to verify references and contextualize recent developments without retrospectively changing the main analytical corpus or its PRISMA counts. Coding followed a mixed logic: four initial categories derived from the research question were refined through emergent subcategories during comparative reading. Findings converge around teacher mediation, project-based learning grounded in local environmental problems, community participation, and technologies adapted to low-connectivity conditions. Direct empirical evidence on the simultaneous integration of AI, curricular transversality, environmental values, and rurality remains scarce. A relational model is proposed in which AI operates as a pedagogical mediation subordinated to educational, environmental, and community goals, and priorities are outlined for longitudinal research, community co-design, data protection for minors, and low-resource technological solutions.

Keywords: AI literacy; sustainability competence; multigrade school; pro-environmental behavior; pedagogical innovation; local knowledge.

Riassunto

L'integrazione dell'intelligenza artificiale (IA), dell'educazione ambientale e dei progetti trasversali crea opportunità pedagogiche che assumono caratteristiche particolari nelle scuole rurali, dove i divari di connettività, la disponibilità di dispositivi, la formazione docente e la pertinenza culturale condizionano qualsiasi innovazione. L'obiettivo di questa revisione è stato analizzare in quali condizioni pedagogiche, tecnologiche e contestuali l'IA e i progetti trasversali possono contribuire allo sviluppo di valori e consapevolezza ambientale nell'istruzione primaria e secondaria rurale. È stato adottato un approccio qualitativo di tipo documentale-bibliografico, sviluppato mediante una revisione integrativa della letteratura e un'analisi qualitativa del contenuto. La ricerca principale è stata condotta tra gennaio e marzo 2025 in Scopus, Web of Science Core Collection, ERIC, SciELO Citation Index e PubMed, integrata da un tracciamento

manuale delle referenze; sono stati identificati 847 record e inclusi 62 documenti. Nel settembre 2026 è stato effettuato un aggiornamento di sorveglianza bibliografica volto a verificare le referenze e contestualizzare gli sviluppi recenti, senza modificare retrospettivamente il corpus principale né i relativi conteggi PRISMA. La codifica ha seguito una logica mista: quattro categorie iniziali derivate dalla domanda di ricerca sono state affinate mediante sottocategorie emergenti durante la lettura comparativa. I risultati mostrano convergenze attorno alla mediazione docente, all'apprendimento basato su progetti collegati a problemi locali, alla partecipazione della comunità e all'uso di tecnologie adattate a condizioni di bassa connettività. Le evidenze dirette sulla combinazione simultanea di IA, trasversalità curricolare, valori ambientali e ruralità rimangono limitate. Si propone un modello relazionale che colloca l'IA come mediazione subordinata a obiettivi pedagogici, ambientali e comunitari e si delineano priorità per la ricerca longitudinale, la co-progettazione con le comunità rurali, la protezione dei dati dei minori e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche a basso consumo di risorse.

Parole chiave: alfabetizzazione all'IA; competenza per la sostenibilità; scuola multiclasse; comportamento proambientale; innovazione pedagogica; saperi locali.

Introducción

Las escuelas rurales concentran una paradoja educativa difícil de resolver con recetas tecnológicas universales. Por una parte, mantienen una relación cotidiana con el territorio, los ciclos productivos, el agua, la biodiversidad y los saberes ecológicos comunitarios; por otra, suelen operar con restricciones de conectividad, escasez de dispositivos, menor acceso a formación especializada y currículos diseñados desde referentes urbanos. Esa combinación convierte a la educación ambiental rural en un campo donde el conocimiento científico no llega a un espacio vacío: entra en diálogo y, a veces, en tensión con conocimientos locales ya sedimentados en la vida familiar y comunitaria. La Educación para el Desarrollo Sostenible propone justamente una formación que articule conocimiento, valores, pensamiento sistémico, colaboración y capacidad de acción (UNESCO, 2021). En la escuela rural, ese mandato adquiere un carácter territorial y no puede limitarse a contenidos descontextualizados.

La expansión de la inteligencia artificial educativa añade otra capa a este problema. La literatura reciente describe aplicaciones para personalización, retroalimentación, tutoría, predicción, recomendación de recursos y apoyo a la planificación docente, aunque también advierte que buena

parte de estos desarrollos presupone ecosistemas digitales maduros (Ahmad et al., 2024; Wang et al., 2024). Ouyang y Jiao (2021) propusieron distinguir entre una IA que dirige al estudiante, una IA que lo apoya y una IA que amplía su agencia. Esta última perspectiva resulta especialmente pertinente para la educación rural: el valor pedagógico de una herramienta no debería medirse por cuánto sustituye al docente o automatiza el currículo, sino por cuánto fortalece la capacidad de estudiantes y comunidades para comprender problemas del territorio, deliberar y actuar sobre ellos. La evidencia acumulada sobre tecnología en escuelas rurales obliga, sin embargo, a moderar cualquier lectura tecnocéntrica. Mustafa et al. (2024), en una revisión sistemática de 36 estudios sobre integración tecnológica en escuelas rurales, identificaron desafíos distribuidos en niveles macro, meso y micro: financiamiento, infraestructura, conectividad, soporte técnico, competencias docentes, acceso estudiantil y adecuación pedagógica. Aruleba y Jere (2022), al revisar la transformación digital en zonas rurales sudafricanas, llegaron a una conclusión convergente: la disponibilidad material constituye solo una parte del problema, porque la sostenibilidad de la innovación también depende de capacidades institucionales y de su apropiación social. Después de la pandemia, además, la brecha digital dejó de describirse exclusivamente como desigualdad de acceso; la calidad del uso, las habilidades y los resultados obtenidos con la tecnología revelaron nuevas formas de desigualdad (Golden et al., 2023; van de Werfhorst et al., 2022).

En paralelo, la educación ambiental cuenta con una base empírica más consolidada. El metaanálisis de van de Wetering et al. (2022), que sintetizó 169 estudios y más de 176 000 participantes, encontró efectos favorables de la educación ambiental sobre conocimiento, actitudes, intenciones y conductas ambientales, aunque con heterogeneidad considerable. Este resultado es relevante por dos razones. Primero, impide reducir la educación ambiental a transferencia de información: las actitudes y conductas requieren experiencias, deliberación y oportunidades de acción. Segundo, deja abierta la pregunta por los componentes concretos que funcionan mejor en poblaciones y contextos distintos. En zonas rurales, la heterogeneidad no es un ruido estadístico prescindible; es parte constitutiva del fenómeno.

Los proyectos transversales, particularmente el aprendizaje basado en proyectos (ABP), ofrecen un punto de articulación entre educación ambiental y vida territorial. En lugar de fragmentar un problema por ejemplo, contaminación de una quebrada en asignaturas aisladas, el proyecto permite movilizar ciencias para interpretar indicadores ambientales, matemáticas para analizar datos,

lenguaje para comunicar resultados, ciencias sociales para estudiar actores y conflictos, y tecnología para documentar o modelar escenarios. Birdman et al. (2022) mostraron que el ABP puede favorecer competencias de sostenibilidad cuando combina colaboración, autonomía y conexión con problemas reales. Vesterinen y Ratinen (2023), al revisar competencias de sostenibilidad en primaria, identificaron pensamiento sistémico, colaboración, orientación a la acción y reflexión valórica como dimensiones recurrentes. Aunque buena parte de esta literatura no se sitúa en escuelas rurales ni incorpora IA, proporciona una base conceptual para examinar su posible convergencia.

La intersección específica entre IA, proyectos transversales, valores ambientales y ruralidad sigue siendo estrecha. Existen revisiones robustas sobre IA en educación (Rojas & Chiappe, 2024; Wang et al., 2024), IA en K-12 (Casal-Otero et al., 2023; Liu & Zhong, 2024), sistemas tutores inteligentes (Lin et al., 2023), educación ambiental (van de Wetering et al., 2022) y tecnología rural (Mustafa et al., 2024), pero estos campos suelen avanzar en circuitos separados. Esa fragmentación puede producir un error de inferencia: asumir que, porque la IA mejora ciertos resultados académicos o porque el ABP favorece competencias de sostenibilidad, su combinación generará automáticamente valores ambientales en escuelas rurales. El presente trabajo evita esa extrapolación causal y utiliza la evidencia disponible para identificar condiciones, mecanismos plausibles y límites.

Con ese punto de partida, el objetivo de esta revisión es analizar cómo la IA y los proyectos transversales se articulan o podrían articularse con respaldo razonable de la literatura para favorecer valores y conciencia ambiental en educación básica y media rural. La pregunta rectora es: ¿bajo qué condiciones pedagógicas, tecnológicas y contextuales la IA y los proyectos transversales pueden contribuir al desarrollo de valores y conciencia ambiental en la educación rural? La revisión se justifica por tres vacíos: la escasez de estudios empíricos que combinen simultáneamente los cuatro componentes; la subrepresentación del Sur global y de escuelas con baja conectividad en la investigación sobre IA educativa; y la necesidad de marcos que sitúen la tecnología como mediación dentro de un ecosistema comunitario, no como variable independiente del contexto.

Metodología

El estudio se desarrolló desde un enfoque cualitativo, con diseño documental-bibliográfico, mediante una revisión integradora de la literatura. Para el tratamiento de la información se empleó análisis cualitativo de contenido, orientado a identificar categorías, convergencias, divergencias, condiciones facilitadoras, limitaciones y vacíos de investigación. La revisión integradora se eligió porque el problema reúne estudios cuantitativos, cualitativos, mixtos, revisiones sistemáticas y trabajos conceptuales procedentes de campos con tradiciones metodológicas diferentes. A diferencia de un metaanálisis, el propósito no fue estimar un tamaño de efecto común, sino construir una síntesis interpretativa capaz de vincular resultados heterogéneos sin borrar las diferencias de contexto y diseño (Whittemore & Knafl, 2005).

La presentación del proceso se organizó con apoyo de PRISMA 2020, utilizado como guía de transparencia para identificación, cribado, elegibilidad e inclusión (Page et al., 2021). Conviene precisar el alcance de esta decisión: PRISMA estructura el reporte del flujo, pero no transforma una revisión integradora en una revisión sistemática de efectos. La síntesis siguió una lógica cualitativa. Esta distinción metodológica evita atribuir al corpus un grado de homogeneidad que no posee y responde a la naturaleza de la pregunta, centrada en condiciones pedagógicas, tecnológicas y contextuales.

La búsqueda principal se ejecutó entre enero y marzo de 2025 en Scopus, Web of Science Core Collection, ERIC, SciELO Citation Index y PubMed. Se incorporó PubMed porque algunas investigaciones sobre educación ambiental escolar, salud ambiental y conducta proambiental se indexan en esa base. La búsqueda se complementó con rastreo manual de referencias de revisiones y artículos clave mediante Google Scholar. Para resolver la inconsistencia temporal observada en la versión inicial del manuscrito, el 10 de septiembre de 2026 se realizó una actualización de vigilancia bibliográfica destinada a localizar trabajos publicados después del cierre original, contrastar DOI, autorías, años, volúmenes y páginas, y contextualizar la discusión con desarrollos recientes. Esta actualización no se utilizó para reconstruir retrospectivamente los conteos del corpus de 62 documentos, pues hacerlo sin las exportaciones originales de todas las bases habría introducido una precisión artificial. Los estudios de 2026 se identifican, por tanto, como evidencia de actualización y no como parte del conjunto que produjo los conteos PRISMA de 2025.

La estrategia de búsqueda combinó tres bloques. El bloque tecnológico incluyó “artificial intelligence”, “machine learning”, “intelligent tutoring”, “adaptive learning”, “generative AI”, “ChatGPT” y “educational technology”. El bloque ambiental-valórico incorporó “environmental education”, “environmental awareness”, “sustainability education”, “ecological literacy”, “values education”, “pro-environmental behavior” y “education for sustainable development”. El bloque contextual-pedagógico integró “rural education”, “rural schools”, “project-based learning”, “cross-curricular”, “transversal” e “interdisciplinary projects”. La ecuación general fue (bloque tecnológico) AND (bloque ambiental-valórico) AND (bloque contextual-pedagógico), aplicada a título, resumen y palabras clave, con adaptaciones sintácticas según cada base.

Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, revisiones de alcance y estudios de caso publicados desde enero de 2021 hasta el cierre de la búsqueda principal en marzo de 2025, en inglés, español o portugués, siempre que aportaran evidencia directamente relacionada con al menos dos de los cuatro componentes centrales y permitieran inferir condiciones relevantes para su integración. Se excluyeron editoriales, cartas, resúmenes sin texto completo, tesis no publicadas, documentos puramente promocionales y estudios centrados únicamente en educación superior cuando no aportaban mecanismos transferibles al nivel escolar. Para la fundamentación teórica se mantuvieron cinco trabajos anteriores a 2021: Whittemore y Knafl (2005), Mishra y Koehler (2006), Zawacki-Richter et al. (2019), Monroe et al. (2019) y Paredes-Chi y Viga-de Alva (2020). Con ello se corrigió el criterio temporal que en la versión anterior no coincidía con el número real de referencias previas a 2021.

La búsqueda principal identificó 847 registros. Se eliminaron 196 duplicados y quedaron 651 registros para cribado por título y resumen. De estos, 138 pasaron a evaluación de texto completo y 62 cumplieron los criterios de inclusión. Las exclusiones a texto completo respondieron principalmente a ausencia de componente rural, relación insuficiente con valores o conciencia ambiental, o falta de evidencia empírica o de síntesis pertinente. La Figura 1 presenta el flujo PRISMA del corpus principal. La actualización de 2026 se reporta por separado porque su función fue de vigilancia y verificación bibliográfica, no de ampliación cuantitativa del corpus original.

El análisis cualitativo se realizó con una estrategia de codificación mixta. Se establecieron cuatro categorías deductivas derivadas de la pregunta de investigación: IA en educación rural; proyectos transversales; valores ambientales; y brechas, ética y gobernanza. Durante la lectura comparativa

emergieron subcategorías que precisaron el análisis: conectividad y funcionamiento offline, personalización, competencia y formación docente, ABP, interdisciplinariedad, participación comunitaria, conciencia y actitudes, conducta proambiental, saberes locales, privacidad, sesgo, pertinencia lingüística y sostenibilidad ambiental de la propia IA. La unidad de análisis fue el segmento textual donde cada estudio describía hallazgos, conclusiones, condiciones de implementación, limitaciones o recomendaciones relacionadas con estas categorías.

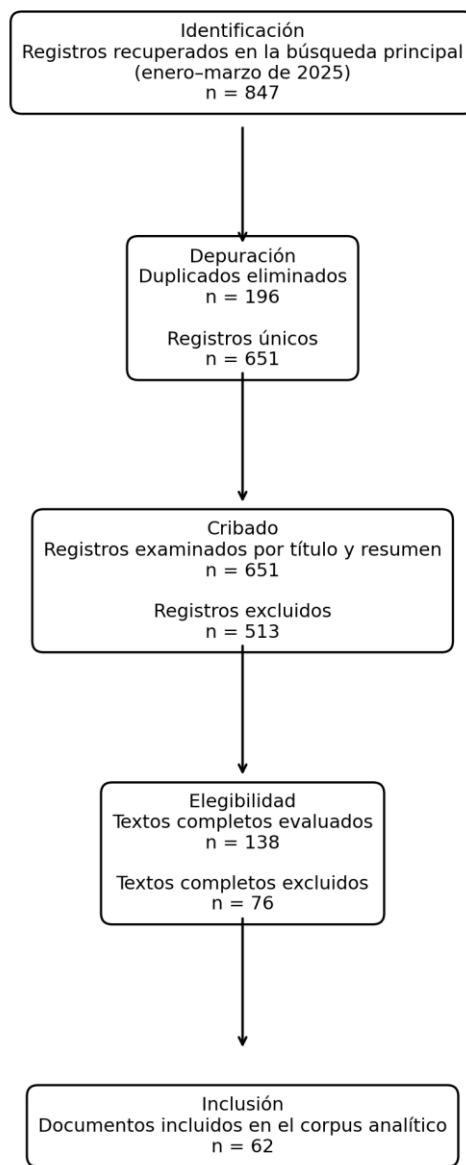
La matriz de extracción registró autoría, año, país o región, nivel educativo, objetivo, diseño, muestra, tecnología o estrategia pedagógica, resultados, limitaciones y categoría temática. Las dos investigadoras revisaron el corpus siguiendo el mismo marco de codificación. Las discrepancias se resolvieron mediante contraste del texto fuente y discusión hasta alcanzar acuerdo interpretativo. Dado el carácter cualitativo de la revisión, no se calculó coeficiente kappa; el énfasis estuvo en la trazabilidad de las decisiones y en la conservación de evidencias discrepantes. La síntesis se construyó por comparación constante: primero dentro de cada categoría y después entre categorías, con especial atención a resultados que cuestionaban generalizaciones optimistas sobre tecnología, ruralidad o educación ambiental.

Categorías analíticas y unidades de análisis

Tabla 1.
Categorías utilizadas en el análisis cualitativo de contenido

Categoría analítica	Subcategorías orientadoras	Unidad de análisis
IA en educación rural	Conectividad; personalización; formación docente; funcionamiento offline; apoyo a planificación	Hallazgos y conclusiones sobre condiciones de uso de IA y tecnología educativa
Proyectos transversales	ABP; interdisciplinariedad; autenticidad del problema; participación comunitaria; evaluación	Experiencias, diseños y estrategias pedagógicas
Valores ambientales	Conciencia; actitudes; conducta; agencia; saberes locales; conexión con la naturaleza	Resultados educativos y mecanismos formativos reportados
Brechas, ética y gobernanza	Acceso; privacidad; sesgo; pertinencia lingüística; sostenibilidad de IA; co-diseño	Barreras, tensiones, limitaciones y recomendaciones

Figura 1. *Flujo PRISMA del corpus principal*



Nota. El flujo corresponde al corpus principal. La actualización de vigilancia bibliográfica hasta septiembre de 2026 se utilizó para verificar y contextualizar la discusión, sin modificar retrospectivamente estos conteos.

Resultados de la revisión

La lectura comparativa mostró que los cuatro ejes no funcionan como compartimentos estancos. La infraestructura condiciona la IA; la formación docente define si la herramienta se integra a un proyecto auténtico o se reduce a automatizar tareas; la participación comunitaria incide en la

pertinencia ambiental; y los valores se desarrollan con mayor consistencia cuando los estudiantes investigan problemas reales y disponen de oportunidades de acción. Por esa razón, los resultados se presentan en cuatro ejes analíticos, pero la interpretación enfatiza sus relaciones.

Síntesis comparativa de estudios clave

Tabla 2.

Síntesis comparativa de estudios representativos

Autor/año	Contexto	Objetivo	Diseño/muestra	Componente	Hallazgo relevante
van de Wetering et al. (2022)	43 países	Estimar efectos de educación ambiental	Metaanálisis; 169 estudios; 176 007 participantes	Educación ambiental	Mejoras promedio en conocimiento, actitudes, intenciones y conducta; alta heterogeneidad.
Mustafa et al. (2024)	Escuelas rurales, varios países	Sintetizar barreras y soluciones de integración tecnológica	Revisión sistemática; 36 estudios	Tecnología rural	Desafíos macro, meso y micro; necesidad de soporte, formación y funciones offline.
Jauhiainen & Garagorry Guerra (2024)	Uruguay	Evaluar personalización dinámica con IA generativa	Estudio escolar; n=110, 8–14 años	IA generativa	La personalización mejoró motivación y desempeño; no midió resultados ambientales.
Silva et al. (2023)	Portugal rural	Explorar aceptabilidad de Ecociudadanía	Programa 2 años; 107 participantes; entrevistas a 18 informantes	Educación ambiental participativa	Alta pertinencia de caminatas, ciencia ciudadana y participación local.
Salazar et al. (2024)	Chile	Evaluar certificación escolar ambiental y conducta sobre plásticos	Modelo de efectos de tratamiento; datos escolares	Gestión/educación ambiental	Asociaciones favorables con conducta proambiental relacionada con residuos plásticos.
Birdman et al. (2022)	EE. UU./Alemania	Analizar ABP y competencias de sostenibilidad	Estudio comparativo longitudinal; 9 estudiantes de posgrado	ABP sostenible	Colaboración, autonomía y conexión con problemas reales apoyaron competencias.

Vesterinen & Ratinen (2023)	Internacional, primaria	Sintetizar competencias de sostenibilidad	Revisión sistemática	Competencias	Pensamiento sistémico y colaboración fueron dimensiones frecuentes; la acción y valores también aparecen.
Hamrick et al. (2026)	EE. UU. rural	Proponer recursos prácticos de IA para docentes rurales	Artículo aplicado/revisión de recursos	IA rural	La formación y el acceso a recursos siguen siendo barreras para educadores rurales.

IA en educación rural: posibilidades reales bajo restricciones de conectividad

La primera regularidad del corpus es negativa y, precisamente por ello, informativa: la mayor parte de la investigación sobre IA educativa no fue diseñada para contextos rurales de baja conectividad. Las revisiones de Ahmad et al. (2024) y Wang et al. (2024) muestran un campo dominado por personalización, predicción, recomendación, evaluación automatizada y tutoría, con una fuerte presencia de educación superior y entornos digitales estables. Rojas y Chiappe (2024) añaden que la IA educativa requiere ecosistemas donde redes, aplicaciones, servicios y usuarios funcionen de forma articulada. Trasladar esas soluciones a una escuela con conectividad intermitente cambia la pregunta de investigación: ya no basta con preguntar si el algoritmo es preciso; hay que preguntar si puede ser utilizado, mantenido, comprendido y apropiado localmente.

Mustafa et al. (2024) aportan la síntesis más directamente relacionada con este problema. Su revisión sistemática sobre integración tecnológica en escuelas rurales identificó desafíos en varios niveles: financiamiento e infraestructura; soporte institucional y conectividad; formación y decisiones docentes; disponibilidad de dispositivos y competencias estudiantiles. Entre las prácticas recomendadas aparecen plataformas compatibles con equipos diversos, funciones offline y formación ajustada a necesidades concretas. El hallazgo es consistente con Carrete-Marín y Domingo-Peñafiel (2022), quienes revisaron recursos tecnológicos para aulas multigrado y subrayaron la necesidad de soluciones flexibles, recursos abiertos, redes docentes y herramientas compatibles con la idiosincrasia de la escuela rural.

La IA generativa amplía las posibilidades de adaptación de materiales, pero la evidencia escolar aún está en consolidación. Jauhiainen y Garagorry Guerra (2024) trabajaron con 110 estudiantes

de 8 a 14 años en Uruguay y utilizaron modelos generativos para ajustar textos, ilustraciones y ejercicios a distintos niveles de conocimiento. Los autores reportaron mejoras en motivación y desempeño durante las lecciones, aunque el estudio no evaluó valores ambientales ni se desarrolló específicamente en una escuela rural. Su contribución es metodológica: demuestra que la personalización dinámica puede operar en educación escolar y no solamente universitaria. No autoriza, sin embargo, a afirmar que esa personalización produce conciencia ambiental.

Las revisiones recientes de K–12 confirman la expansión del campo y al mismo tiempo sus vacíos. Casal-Otero et al. (2023) encontraron que la alfabetización en IA se ha desarrollado mediante experiencias muy diversas, con mayor concentración en determinados países y niveles educativos. Liu y Zhong (2024) observaron que la enseñanza de IA en K–12 privilegia experiencias prácticas y contenidos complejos, pero requiere diseños pedagógicos más consistentes. Létourneau et al. (2025), en su revisión de sistemas tutores inteligentes impulsados por IA en K–12, muestran un interés creciente por tutoría y adaptación. Ninguna de estas líneas, por sí sola, resuelve el problema rural: la eficacia técnica depende de la disponibilidad de datos, dispositivos, soporte y tiempo docente.

La actualización de vigilancia hasta 2026 permite añadir un dato especialmente pertinente. Hamrick et al. (2026) describen recursos prácticos de IA para educadores de escuelas rurales, en particular docentes de educación especial, y señalan que la falta de formación y acceso a recursos limita su adopción. El artículo no constituye una prueba experimental de impacto, pero confirma que la discusión sobre IA rural ya se ha desplazado desde la mera disponibilidad hacia condiciones de uso, desarrollo profesional y consideraciones éticas. En otras palabras, la ruralidad comienza a aparecer como un contexto analítico propio, aunque todavía con escasa densidad empírica.

La formación docente se repite como condición mediadora. Salas-Pilco et al. (2022) mostraron, en su revisión sobre IA y analíticas de aprendizaje en formación docente, que buena parte de los estudios analiza comportamientos, percepciones y competencia digital de profesores, mientras las consideraciones éticas se reportan con menor frecuencia. Lozano y Blanco Fontao (2023), al estudiar estudiantes de formación primaria desde su doble rol de alumnos y futuros docentes, encontraron interés en las posibilidades de ChatGPT junto con incertidumbres sobre su incorporación educativa. En contextos rurales, donde un mismo docente puede atender varios grados y áreas, la formación necesita ir más allá de aprender a “usar una herramienta”: debe incluir

selección de tareas, validación de respuestas, protección de datos, diseño de actividades sin conexión y criterios para decidir cuándo no usar IA.

Se deriva así una conclusión prudente. La literatura revisada reporta beneficios potenciales de personalización y apoyo docente, pero no demuestra que la IA, por sí misma, mejore resultados ambientales en escuelas rurales. La inferencia más defendible es condicional: cuando existen infraestructura mínima, acompañamiento docente, contenidos culturalmente pertinentes y alternativas de funcionamiento con conectividad limitada, la IA puede ampliar repertorios de planificación, retroalimentación y exploración. Donde esas condiciones faltan, la herramienta puede añadir carga cognitiva y organizativa a una escuela ya limitada por recursos.

Proyectos transversales y aprendizaje basado en proyectos para sostenibilidad

El segundo eje presenta una base pedagógica más estable. El ABP orientado a sostenibilidad tiende a organizar el aprendizaje alrededor de problemas auténticos y, con ello, rompe la separación artificial entre áreas. Birdman et al. (2022), en un estudio comparativo longitudinal con estudiantes de programas de sostenibilidad, observaron que colaboración, autonomía y conexión con problemas reales contribuían al desarrollo percibido de competencias. Aunque el nivel educativo era superior, el mecanismo es relevante para la escuela: un problema ambiental situado exige integrar saberes, negociar decisiones y producir un resultado que tenga sentido fuera del aula.

Vesterinen y Ratinen (2023) acercan esta discusión al nivel primario. Su revisión sistemática encontró que pensamiento sistémico y colaboración eran las competencias de sostenibilidad estudiadas con mayor frecuencia, seguidas de orientación a la acción y reflexión valórica. El hallazgo cuestiona currículos ambientales centrados en información factual. Saber qué es biodiversidad o cambio climático constituye un punto de partida, pero la sostenibilidad escolar requiere que el estudiante relacione causas, actores, consecuencias, escalas y opciones de intervención. Un proyecto transversal puede materializar esa relación porque obliga a pasar de la explicación a la toma de decisiones.

La educación ambiental digital tampoco necesita separarse de experiencias activas. Las revisiones sobre educación ambiental en línea muestran que las experiencias más sólidas combinan contenidos digitales con interacción, reflexión, tareas aplicadas y retroalimentación, en vez de trasladar una clase expositiva a una pantalla. Esto resulta decisivo para integrar IA: una

herramienta generativa puede ayudar a formular preguntas, resumir datos, adaptar un texto o ensayar escenarios, pero el núcleo del proyecto sigue siendo la investigación del problema y la acción situada. Cuando la tecnología se convierte en el producto final “hacer algo con IA” el propósito ambiental queda subordinado al dispositivo.

La experiencia chilena analizada por Salazar et al. (2024) aporta evidencia sobre conducta proambiental. Utilizando un modelo de efectos de tratamiento multivaluados, los autores evaluaron el programa de certificación ambiental de escuelas y encontraron asociaciones favorables entre la participación en el programa y conductas relacionadas con residuos plásticos. El diseño no permite atribuir los resultados a IA ni a un único componente pedagógico, pero muestra que una política escolar ambiental sostenida puede trascender el conocimiento declarativo. La implicación para proyectos transversales es clara: el proyecto aislado tiene menos posibilidades de modificar prácticas que un ecosistema escolar donde currículo, gestión y relación con el entorno son coherentes.

El metaanálisis de van de Wetering et al. (2022) refuerza esta cautela. La educación ambiental produjo mejoras promedio en conocimiento, actitudes, intenciones y conductas, pero con una heterogeneidad que los moderadores examinados no explicaron completamente. Por eso no conviene afirmar que el ABP sea universalmente “más eficaz” que toda enseñanza disciplinar. La literatura revisada muestra mayor consistencia a favor de metodologías activas y contextualizadas para ciertos resultados, pero la magnitud depende del diseño, duración, población, instrumentos y contexto. La forma metodológicamente correcta de expresarlo es que los estudios reportan resultados favorables cuando los proyectos incluyen autenticidad, colaboración, continuidad y oportunidades de acción.

La transversalidad también exige revisar la evaluación. Si el objetivo es desarrollar conciencia ambiental, pensamiento sistémico, colaboración y agencia, una prueba de recuerdo factual solo capta una fracción del aprendizaje. Las competencias de sostenibilidad descritas por Vesterinen y Ratinen (2023) sugieren combinar productos, procesos, autoevaluación, observación de prácticas, argumentación y evidencias de acción. En escuelas rurales, la evaluación puede integrar registros de campo, mapas comunitarios, diarios de observación, análisis de datos simples y productos comunicativos dirigidos a familias o autoridades. La IA podría apoyar retroalimentación o

sistematización, pero las decisiones evaluativas deben permanecer bajo control pedagógico docente.

Valores y conciencia ambiental en comunidades rurales

La literatura ambiental distingue con razón entre conocimiento, actitud, intención y conducta. Van de Wetering et al. (2022) encontraron tamaños de efecto diferentes para cada resultado, lo que confirma que informar no equivale a transformar prácticas. Monroe et al. (2019), en una revisión sistemática sobre educación frente al cambio climático, ya habían identificado estrategias como participación activa, conexión con problemas relevantes y enfoques deliberativos. Yang et al. (2022), en un experimento con niños de primeros grados, mostraron que una intervención narrativa mejoró conocimiento y actitudes ambientales, aunque no produjo cambios significativos en intención conductual. El patrón es revelador: los componentes afectivos y narrativos pueden modificar cómo se percibe el ambiente, pero convertir esa disposición en conducta requiere condiciones adicionales.

La ruralidad modifica el significado de esas variables. En muchas comunidades, los estudiantes poseen experiencias directas con agricultura, disponibilidad de agua, bosques, residuos, fauna o cambios climáticos locales. El currículo no necesita “crear” desde cero una relación con la naturaleza; necesita convertir experiencias dispersas en comprensión crítica y acción informada. Paredes-Chi y Viga-de Alva (2020), en una escuela primaria rural de México, mostraron cómo la investigación-acción participativa permitió revisar concepciones y prácticas docentes de educación ambiental. Su aporte no consiste en idealizar el saber local, sino en construir puentes entre experiencia comunitaria y conocimiento escolar mediante participación reflexiva.

Silva et al. (2023) ofrecen otro ejemplo situado. El programa ECOCIUDADANIA se implementó durante dos años con jóvenes de una zona rural portuguesa y combinó caminatas de naturaleza con principios de ciencia ciudadana. Las entrevistas con estudiantes y docentes mostraron aceptabilidad y beneficios percibidos vinculados con participación y contacto con el entorno. La duración y el carácter participativo distinguen esta experiencia de campañas breves. Para una integración futura con IA, el aprendizaje más valioso es que la tecnología debería apoyar procesos ya arraigados registro de observaciones, clasificación, visualización, comparación de datos en vez de desplazar la experiencia de campo.

Saud y Ashfaq (2022) analizaron escuelas promovidas por organizaciones no gubernamentales en áreas rurales dentro del marco de educación para el desarrollo sostenible. Su trabajo refuerza la idea de que la escuela rural se vincula con agendas de desarrollo más amplias y que la sostenibilidad educativa se relaciona con condiciones sociales, económicas y comunitarias. La educación ambiental pierde fuerza cuando aparece como un contenido separado de la vida productiva y de los problemas que las familias consideran urgentes. Por ello, un proyecto sobre agua, suelo, residuos o biodiversidad debería construirse a partir de un diagnóstico participativo y no únicamente de una secuencia predefinida por una plataforma.

La conexión con la naturaleza puede potenciarse mediante experiencias repetidas, aunque no toda la evidencia procede de población escolar. Sheffield et al. (2022), en un metaanálisis sobre intervenciones para aumentar la conexión con la naturaleza en adultos, encontraron efectos positivos de corto plazo y señalaron la necesidad de estudiar prácticas sostenidas. Este resultado no puede trasladarse mecánicamente a niños rurales, pero aporta una advertencia útil: las intervenciones puntuales tienen menos capacidad para sostener cambios si no se acompañan de prácticas recurrentes. En educación escolar, la transversalidad cumple precisamente esa función de continuidad cuando la sostenibilidad atraviesa asignaturas, rutinas y decisiones institucionales. La dimensión valórica también exige evitar una lectura romántica de la ruralidad. Habitar un entorno natural no garantiza automáticamente conductas conservacionistas; las decisiones familiares y comunitarias responden a necesidades económicas, políticas públicas, mercados, disponibilidad de alternativas y conflictos territoriales. Un programa de educación ambiental que condene ciertas prácticas sin comprender esas restricciones corre el riesgo de moralizar a los estudiantes. La IA puede agravar ese problema si reproduce respuestas generales entrenadas con corpus ajenos al territorio. El diseño pedagógico debe, por tanto, enseñar a contrastar recomendaciones algorítmicas con evidencia local y con voces de la comunidad.

Brechas, ética, gobernanza y sostenibilidad de la propia IA

La cuarta categoría reúne tensiones que no son accesorios del diseño, sino condiciones de legitimidad. Van de Werfhorst et al. (2022) demostraron, con datos internacionales previos a la pandemia, desigualdades en habilidades digitales de estudiantes y diferencias entre escuelas en recursos y preparación. Golden et al. (2023) describieron cómo la escolarización remota amplificó

desigualdades educativas para jóvenes marginados. En contextos rurales, estas brechas se combinan con costos de conectividad, distancia a soporte técnico y menor disponibilidad de dispositivos. Introducir IA sobre esa base puede redistribuir beneficios hacia quienes ya tienen mejores condiciones de acceso.

La ética de IA educativa incluye privacidad, sesgo, transparencia, supervisión humana y protección de menores. Tlili et al. (2023), al estudiar tempranamente ChatGPT como caso de chatbot educativo, expusieron oportunidades y riesgos asociados con colaboración humano-máquina, calidad de información y uso responsable. Salas-Pilco et al. (2022) encontraron que la autorización ética era mencionada de manera limitada en estudios de IA y analíticas aplicadas a formación docente. La expansión de sistemas generativos hace esta omisión menos aceptable. En escuelas rurales pequeñas, donde pocos atributos pueden reidentificar a un estudiante, la anonimización merece especial atención.

La pertinencia lingüística constituye otra brecha. Los modelos generativos suelen mostrar mejor desempeño en lenguas y variedades con alta representación digital. Casal-Otero et al. (2023) observan que la alfabetización en IA en K-12 no se distribuye uniformemente entre contextos; la disponibilidad de recursos y currículos sigue concentrada. Para estudiantes que usan lenguas indígenas o variedades locales, una herramienta puede producir respuestas gramaticalmente correctas y pedagógicamente ajenas. La solución no es excluir la IA de forma automática, sino incorporar validación comunitaria, repertorios locales, traducción crítica y actividades donde el estudiante compare la salida del modelo con conocimientos y formas de nombrar del territorio.

La sostenibilidad ambiental de la propia IA introduce una contradicción que un artículo sobre conciencia ecológica no debería ignorar. Huang y Gopal (2025) discuten el concepto de Green AI y las demandas energéticas crecientes de los sistemas computacionales. En educación ambiental, utilizar modelos de gran escala sin discutir su huella material puede producir una disonancia curricular: se enseña sostenibilidad con una tecnología presentada como inmaterial. Un proyecto transversal bien diseñado puede convertir esa tensión en contenido de aprendizaje, por ejemplo, comparando consumo energético, utilidad pedagógica y alternativas de cómputo más eficiente.

Por último, la gobernanza tecnológica necesita participación. El paradigma de IA centrada en el estudiante propuesto por Ouyang y Jiao (2021) es compatible con una visión donde la herramienta amplía agencia en lugar de reemplazarla. Esa agencia debe extenderse a docentes, familias y

comunidades. Elegir qué datos se recopilan, qué plataforma se utiliza, qué contenidos se consideran legítimos y qué usos se prohíben son decisiones educativas y políticas, no meros parámetros técnicos. En una escuela rural, el co-diseño puede ser más lento que la adopción de una plataforma cerrada, pero ofrece mayor posibilidad de apropiación y continuidad.

Discusión

La síntesis permite sostener una tesis más precisa que la formulada en la versión inicial del manuscrito: la evidencia no demuestra todavía que la combinación de IA y proyectos transversales cause mejoras en valores ambientales dentro de escuelas rurales. Lo que sí demuestra, con grados distintos de solidez, es la existencia de cuatro conjuntos de condiciones que hacen plausible y pedagógicamente defendible esa integración. La educación ambiental produce resultados favorables en conocimiento, actitudes e intenciones; las metodologías activas y contextualizadas pueden favorecer competencias de sostenibilidad; la IA puede apoyar personalización y retroalimentación; y la tecnología rural requiere adaptaciones institucionales y materiales específicas. El aporte de la revisión consiste en integrar estos cuerpos de evidencia sin confundir convergencia teórica con causalidad empírica.

El primer consenso se refiere a la mediación docente. Ni los sistemas tutores, ni la IA generativa, ni las plataformas adaptativas sustituyen la necesidad de diseño pedagógico. Wang et al. (2024) y Ahmad et al. (2024) muestran que la investigación en IA educativa se ha expandido hacia múltiples aplicaciones, pero persisten vacíos teóricos y contextuales. En ruralidad, esa mediación incluye tareas adicionales: seleccionar herramientas que funcionen con infraestructura disponible, anticipar fallos de conexión, verificar salidas, traducir contenidos a repertorios culturales locales y decidir qué actividades se benefician realmente de automatización. Hamrick et al. (2026) confirma, desde un contexto rural, que formación y familiaridad con recursos siguen siendo barreras concretas.

El segundo consenso es que la autenticidad del problema ambiental importa más que la sofisticación tecnológica. La literatura sobre sostenibilidad y educación ambiental converge en que la participación, la relevancia local y la acción fortalecen los procesos formativos (Birdman et al., 2022; Silva et al., 2023; van de Wetering et al., 2022). Una escuela puede desarrollar un proyecto de alto valor educativo con hojas de cálculo, observación de campo y entrevistas comunitarias,

mientras una experiencia con un modelo generativo de última generación puede ser pedagógicamente pobre si se limita a pedir respuestas. La IA añade valor cuando mejora preguntas, adapta recursos, ayuda a explorar datos o facilita retroalimentación; no cuando se convierte en el fin del proyecto.

El tercer consenso se relaciona con la continuidad. Los valores ambientales no suelen modificarse por una actividad aislada. El efecto heterogéneo observado por van de Wetering et al. (2022), junto con los hallazgos sobre conexión con la naturaleza de Sheffield et al. (2022), obliga a pensar en trayectorias más largas. Por eso la transversalidad curricular tiene un valor distinto al de una “semana ecológica”. Integra problemas ambientales en diferentes asignaturas y momentos del año, lo que permite volver sobre decisiones, observar cambios, revisar datos y contrastar consecuencias. Una IA usada de forma intermitente puede apoyar esa continuidad mediante historiales o adaptación, siempre que el tratamiento de datos sea seguro.

También aparecen disensos. Una parte de la literatura de IA educativa enfatiza personalización, eficiencia y escalabilidad; otra subraya riesgos de automatización, sesgo y dependencia. No es necesario elegir una de estas posiciones como verdad absoluta. En escuelas rurales ambas pueden ser válidas simultáneamente: una herramienta puede reducir tiempo de preparación para un docente multigrado y, al mismo tiempo, introducir contenidos descontextualizados o recopilar datos sensibles. La evaluación de la tecnología debe ser situada y multicriterio. Preguntar “¿funciona?” es insuficiente; se necesita preguntar para quién funciona, bajo qué infraestructura, con qué datos, con qué costos, con qué efectos sobre la autonomía docente y con qué capacidad de mantenimiento.

El modelo TPACK de Mishra y Koehler (2006) ayuda a comprender la necesidad de articular conocimiento tecnológico, pedagógico y disciplinar, pero la revisión sugiere que, para este problema, el contexto debe ocupar un lugar explícito. No basta con que un docente domine tecnología, pedagogía y contenido ambiental. Debe conocer el territorio, sus actores, saberes, conflictos, lenguas, ciclos productivos e infraestructura. La figura conceptual propuesta añade ese contexto como capa condicionante y sitúa la formación docente entre el contexto y la integración pedagógica. La IA y el ABP aparecen como mediaciones en interacción, no como motores autónomos del cambio.

El aporte original de esta revisión frente a trabajos previos radica precisamente en esa integración. Las revisiones de IA educativa describen aplicaciones y tendencias; las de tecnología rural documentan barreras; las de educación ambiental estiman resultados; y las de competencias de sostenibilidad identifican dimensiones formativas. Este trabajo pone esos hallazgos en una misma arquitectura interpretativa y propone que la unidad de diseño no sea la herramienta de IA, sino el proyecto ambiental rural. Bajo esa lógica, la pregunta deja de ser “cómo llevar IA a la escuela rural” y pasa a ser “qué problema ambiental y formativo necesita resolver la comunidad escolar, y qué función si alguna puede cumplir la IA dentro de ese proyecto”. Esa inversión del orden tiene consecuencias para investigación, política pública y desarrollo tecnológico.

Los vacíos permanecen amplios. No se identificó en el corpus principal evidencia experimental que combine simultáneamente IA, ABP transversal, educación ambiental y escuelas rurales. La actualización de 2026 muestra que crece la literatura de IA en K–12 y comienza a aparecer trabajo específicamente rural, pero la intersección completa sigue siendo rara. Faltan diseños longitudinales, estudios multisitio en América Latina y África, comparaciones entre soluciones conectadas y offline, instrumentos culturalmente validados para valores ambientales, y evaluaciones que integren resultados cognitivos, conductuales y comunitarios.

Existe además un vacío de implementación. Las revisiones suelen describir barreras y recomendar formación docente, pero se sabe menos sobre qué modelos de desarrollo profesional funcionan mejor cuando el profesor tiene conectividad intermitente, atiende varios grados o carece de soporte técnico. Futuros estudios deberían documentar no solo el resultado final, sino las decisiones cotidianas de implementación: cuánto tiempo requiere preparar materiales, qué errores del modelo deben corregirse, cómo se resuelven interrupciones de servicio y qué tareas terminan siendo abandonadas. Ese nivel de detalle permite distinguir innovación sostenible de demostraciones piloto difíciles de replicar.

La dimensión ética merece una agenda propia. El uso de modelos generativos con menores introduce preguntas sobre consentimiento, almacenamiento de interacciones, exposición de datos personales y dependencia de proveedores comerciales. En comunidades pequeñas, las salvaguardas deben ser más estrictas, no menos. También se requieren estudios sobre sesgo lingüístico y cultural. Una herramienta que desconoce nombres de especies locales, prácticas agrícolas o categorías comunitarias puede parecer competente mientras produce errores

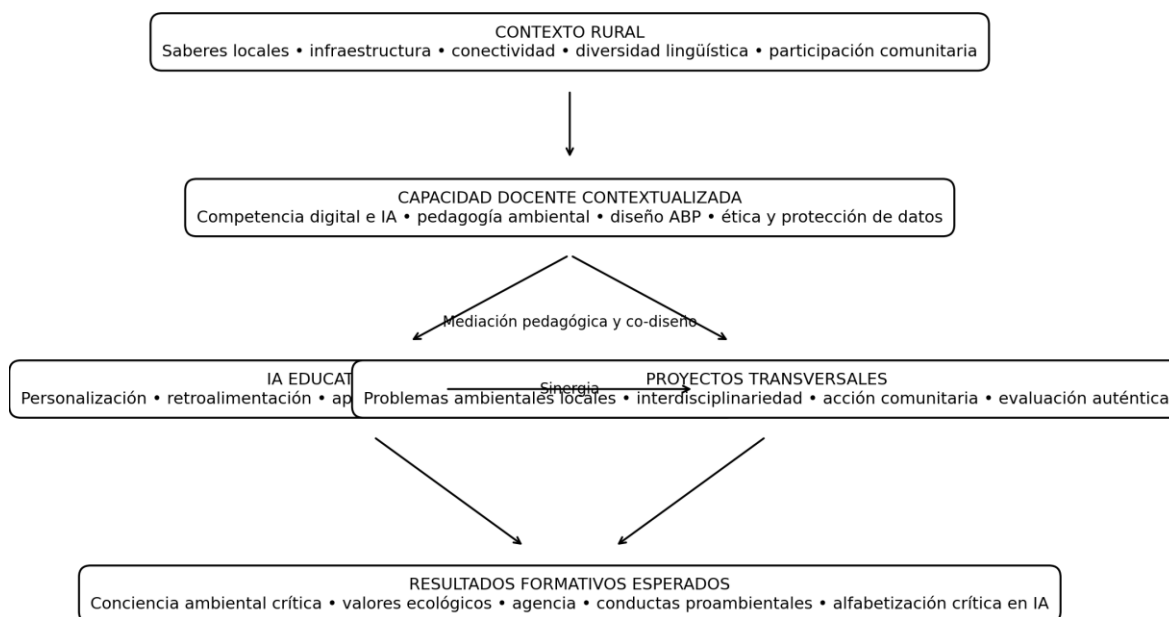
sustantivos. La alfabetización crítica en IA debería, por ello, ser uno de los resultados formativos del proyecto, junto con la conciencia ambiental.

Metodológicamente, la revisión tiene límites. El corpus principal se cerró en marzo de 2025 y la actualización de 2026 se utilizó como vigilancia bibliográfica, no como una segunda búsqueda sistemática con recálculo de conteos. Esta decisión preserva la honestidad del flujo PRISMA, pero implica que estudios recientes pueden no estar representados exhaustivamente. La heterogeneidad de diseños impidió comparar tamaños de efecto. Además, parte de la evidencia relevante procede de educación superior o contextos urbanos y se utilizó únicamente para inferir mecanismos plausibles, no para generalizar resultados a ruralidad. Estas limitaciones reducen el alcance causal de las conclusiones, pero también delimitan con claridad qué afirmaciones están sostenidas por evidencia directa y cuáles funcionan como hipótesis de diseño.

Modelo conceptual derivado de la revisión

El modelo relacional de la Figura 2 se deriva de las categorías analíticas y de las relaciones repetidas en la literatura. En la base se ubica el contexto rural, entendido como combinación de infraestructura, conectividad, saberes ecológicos, diversidad lingüística y participación comunitaria. Ese contexto condiciona la formación docente contextualizada, que articula competencia digital e IA, pedagogía ambiental, diseño de proyectos y ética. A partir de allí se conectan dos mediaciones: IA educativa apropiada a los recursos disponibles y proyectos transversales anclados a problemas ambientales locales. La sinergia entre ambas no se presupone; depende de decisiones pedagógicas y co-diseño. Los resultados esperados conciencia crítica, valores ecológicos, conductas proambientales, agencia y alfabetización crítica en IA deben ser evaluados empíricamente y no interpretados como efectos automáticos del modelo.

Figura 2. *Modelo relacional para integrar IA y proyectos transversales en educación ambiental rural*



Fuente: elaboración propia a partir de las categorías y relaciones identificadas en la revisión integradora y su actualización de vigilancia bibliográfica.

Conclusiones e implicaciones

La revisión muestra que la integración de IA y proyectos transversales en educación ambiental rural es una agenda plausible, pero aún más programática que empíricamente consolidada. La literatura analizada no permite afirmar que la IA genere por sí misma valores o conductas proambientales. Sí permite sostener que las tecnologías de personalización, tutoría y generación de recursos pueden apoyar proyectos ambientales cuando se subordinan a objetivos pedagógicos claros, funcionan bajo la infraestructura disponible y son mediadas por docentes capaces de validar sus respuestas y adaptarlas al territorio.

El ABP y otras formas de trabajo interdisciplinario ofrecen el soporte pedagógico más consistente para esa integración porque organizan el aprendizaje alrededor de problemas reales. La evidencia revisada reporta resultados favorables en competencias de sostenibilidad, conocimiento, actitudes y determinadas conductas cuando existe participación activa, continuidad y conexión con el entorno. En ruralidad, esta lógica resulta especialmente pertinente porque el territorio no es solo un escenario de aplicación: es fuente de preguntas, datos, saberes y controversias.

Para la práctica educativa, la recomendación es diseñar el proyecto antes de elegir la herramienta. Un equipo docente puede partir de un problema calidad del agua, residuos, erosión, biodiversidad, uso de agroquímicos o pérdida de saberes locales y decidir luego qué función cumple la IA: adaptar lecturas, proponer preguntas, apoyar clasificación, ofrecer retroalimentación, ayudar a visualizar datos o comparar escenarios. Cuando la conectividad sea limitada, deben priorizarse soluciones offline, recursos descargables, modelos ligeros o usos puntuales desde equipos docentes en lugar de exigir acceso permanente a cada estudiante.

Para la política pública, la inversión en IA no debería competir con necesidades básicas de conectividad, electricidad, mantenimiento y formación. La revisión de tecnología rural demuestra que estas condiciones se encadenan. Adquirir licencias sin soporte o capacitación produce una innovación frágil. Las políticas deberían incluir criterios de interoperabilidad, protección de datos de menores, opciones de funcionamiento con baja conectividad, recursos en lenguas locales y evaluación de costos de mantenimiento. La participación comunitaria tendría que incorporarse desde la selección de problemas y herramientas, no solamente durante la socialización final.

Para la investigación futura, se requieren estudios cuasiexperimentales y longitudinales en escuelas rurales del Sur global que comparen proyectos ambientales con y sin apoyo de IA, controlando características de infraestructura y formación docente. También son necesarios estudios cualitativos de implementación que expliquen cómo se negocian saberes locales, cómo perciben la tecnología familias y docentes, y qué errores o sesgos aparecen en interacciones reales. Los resultados deberían medir conocimiento, actitudes, conducta, agencia, colaboración, alfabetización en IA y apropiación comunitaria. Sin ese diseño multidimensional, la evaluación seguirá captando solo una parte del fenómeno.

La contribución central del artículo es proponer una lectura no tecnocéntrica de la innovación. En la educación rural, la IA tiene sentido cuando amplifica la capacidad de observar, preguntar, interpretar y actuar sobre el territorio. El proyecto transversal ofrece la estructura; la comunidad aporta conocimiento y legitimidad; el docente organiza la mediación; y la tecnología ocupa un lugar instrumental. Esa jerarquía conceptual permite pensar una educación ambiental con IA que no sacrifique pertinencia cultural ni equidad en nombre de la novedad tecnológica.

Referencias

- Abulibdeh, A., Zaidan, E., & Abulibdeh, R. (2024). Navigating the confluence of artificial intelligence and education for sustainable development in the era of Industry 4.0: Challenges, opportunities, and ethical dimensions. *Journal of Cleaner Production*, 437, 140527. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140527>
- Ahmad, K., Iqbal, W., El-Hassan, A., Qadir, J., Benhaddou, D., Ayyash, M., & Al-Fuqaha, A. (2024). Data-driven artificial intelligence in education: A comprehensive review. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 12–31. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3314610>
- Alfarwan, A. (2025). Generative AI use in K-12 education: A systematic review. *Frontiers in Education*, 10, 1647573. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1647573>
- AlSagri, H. S., & Sohail, S. S. (2024). Evaluating the role of artificial intelligence in sustainable development goals with an emphasis on ‘quality education’. *Discover Sustainability*, 5, 458. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00682-9>
- Aruleba, K., & Jere, N. (2022). Exploring digital transforming challenges in rural areas of South Africa through a systematic review of empirical studies. *Scientific African*, 16, e01190. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01190>
- Birdman, J., Wiek, A., & Lang, D. J. (2022). Developing key competencies in sustainability through project-based learning in graduate sustainability programs. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(5), 1139–1157. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-12-2020-0506>
- Carrete-Marín, N., & Domingo-Peñafiel, L. (2022). Los recursos tecnológicos en las aulas multigrado de la escuela rural: Una revisión sistemática. *Revista Brasileira de Educação do Campo*, 7, e13452. <https://doi.org/10.20873/uft.rbec.e13452>
- Casal-Otero, L., Catalá, A., Fernández-Morante, C., Taboada, M., Cebreiro, B., & Barro, S. (2023). AI literacy in K-12: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 10, 29. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00418-7>
- Debrah, J. K., Vidal, D. G., & Dinis, M. A. P. (2021). Raising awareness on solid waste management through formal education for sustainability: A developing countries evidence review. *Recycling*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.3390/recycling6010006>
- Golden, A. R., Srisarajivakul, E. N., Hasselle, A. J., Pfund, R. A., & Knox, J. (2023). What was a gap is now a chasm: Remote schooling, the digital divide, and educational inequities resulting from the COVID-19 pandemic. *Current Opinion in Psychology*, 52, 101632. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2023.101632>
- Grishchenko, N. (2022). An inverted digital divide during COVID-19 pandemic? Evidence from a panel of EU countries. *Telematics and Informatics*, 72, 101856. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2022.101856>
- Hamrick, J., Favela, A., Prueitt, N., Niland, H., Prince, A., & Marzban, F. (2026). Leveraging artificial intelligence tools for educators in rural schools: Practical resources and

- considerations. *Rural Special Education Quarterly*, 45(1), 39–49. <https://doi.org/10.1177/87568705251387039>
- Huang, J., & Gopal, S. (2025). Green AI – A multidisciplinary approach to sustainability. *Environmental Science and Ecotechnology*, 24, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.es.2025.100536>
- Jaramillo, J. J., & Chiappe, A. (2024). The AI-driven classroom: A review of 21st century curriculum trends. *Prospects*, 54, 645–660. <https://doi.org/10.1007/s11125-024-09704-w>
- Jauhainen, J. S., & Garagorry Guerra, A. (2024). Generative AI and education: Dynamic personalization of pupils' school learning material with ChatGPT. *Frontiers in Education*, 9, 1288723. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1288723>
- Létourneau, A., Deslandes Martineau, M., Charland, P., Karran, J. A., Boasen, J., & Léger, P. M. (2025). A systematic review of AI-driven intelligent tutoring systems (ITS) in K-12 education. *npj Science of Learning*, 10, 29. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00320-7>
- Lin, C.-C., Huang, A. Y. Q., & Lu, O. H. T. (2023). Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: A systematic review. *Smart Learning Environments*, 10, 41. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00260-y>
- Lintner, T. (2024). A systematic review of AI literacy scales. *npj Science of Learning*, 9, 50. <https://doi.org/10.1038/s41539-024-00264-4>
- Liu, X., & Zhong, B. (2024). A systematic review on how educators teach AI in K-12 education. *Educational Research Review*, 45, 100642. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100642>
- Liu, X., Guo, B., He, W., & Hu, X. (2025). Effects of generative artificial intelligence on K-12 and higher education students' learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 63(5). <https://doi.org/10.1177/07356331251329185>
- Lozano, A., & Blanco Fontao, C. (2023). Is the education system prepared for the irruption of artificial intelligence? A study on the perceptions of students of Primary Education Degree from a dual perspective: Current pupils and future teachers. *Education Sciences*, 13(7), 733. <https://doi.org/10.3390/educsci13070733>
- Marzano, D. (2026). Generative artificial intelligence (GAI) in teaching and learning processes at the K-12 level: A systematic review. *Technology, Knowledge and Learning*, 31, 789–829. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09853-7>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: A systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791–812. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1360842>
- Mustafa, F., Nguyen, H. T. M., & Gao, X. (2024). The challenges and solutions of technology integration in rural schools: A systematic literature review. *International Journal of Educational Research*, 126, 102380. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102380>

- Ouyang, F., & Jiao, P. (2021). Artificial intelligence in education: The three paradigms. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100020. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100020>
- Ouyang, F., Zheng, L., & Jiao, P. (2022). Artificial intelligence in online higher education: A systematic review of empirical research from 2011 to 2020. *Education and Information Technologies*, 27(6), 7893–7925. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10925-9>
- 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>
- Paredes-Chi, A., & Viga-de Alva, M. D. (2020). Participatory action research (PAR) and environmental education (EE): A Mexican experience with teachers from a primary rural school. *Environmental Education Research*, 26(11), 1578–1593. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1788515>
- Rojas, M. P., & Chiappe, A. (2024). Artificial intelligence and digital ecosystems in education: A review. *Technology, Knowledge and Learning*, 29, 2153–2170. <https://doi.org/10.1007/s10758-024-09732-7>
- Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence applications in Latin American higher education: A systematic review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19, 21. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00326-w>
- 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>
- Salazar, C., Jaime, M., Leiva, M., & González, N. (2024). Environmental education and children's pro-environmental behavior on plastic waste: Evidence from the green school certification program in Chile. *International Journal of Educational Development*, 109, 103106. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2024.103106>
- Saud, M., & Ashfaq, A. (2022). NGOs schools are promoting education for sustainable development in rural areas. *Globalisation, Societies and Education*, 20(5), 682–694. <https://doi.org/10.1080/14767724.2021.1993796>
- Sheffield, D., Butler, C. W., & Richardson, M. (2022). Improving nature connectedness in adults: A meta-analysis, review and agenda. *Sustainability*, 14(19), 12494. <https://doi.org/10.3390/su141912494>
- Silva, I. S., Cunha-Saraiva, F., Ribeiro, A. S., & Bártolo, A. (2023). Exploring the acceptability of an environmental education program for youth in rural areas: ECOCIUDADANIA project. *Education Sciences*, 13(10), 982. <https://doi.org/10.3390/educsci13100982>
- Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., Hickey, D. T., Huang, R., & Agyemang, B. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments*, 10, 15. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x>
- UNESCO. (2021). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO Publishing.

- UNESCO. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO.
- van de Werfhorst, H. G., Kessenich, E., & Geven, S. (2022). The digital divide in online education: Inequality in digital readiness of students and schools. *Computers and Education Open*, 3, 100100. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100100>
- van de Wetering, J., Leijten, P., Spitzer, J., & Thomaes, S. (2022). Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? A meta-analysis. *Journal of Environmental Psychology*, 81, 101782. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101782>
- Vesterinen, M., & Ratinen, I. (2023). Sustainability competences in primary school education – A systematic literature review. *Environmental Education Research*, 30(1), 56–67. <https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2170984>
- Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 252, 124167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>
- 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>
- Yang, B., Wu, N., Tong, Z., & Sun, Y. (2022). Narrative-based environmental education improves environmental awareness and environmental attitudes in children aged 6–8. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6483. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116483>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>