

Tipo de artículo: Investigación

La ética como eje del uso de la inteligencia artificial en los procesos educativos del Ecuador contemporáneo

The ethics as the axis for the use of artificial intelligence in the educational processes of contemporary Ecuador

Autores:

Edwin Guillermo Guamán Tonato

Universidad de la Plata Argentina, Puyo-Ecuador, guilloguaman@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-3324-7444>

Mónica de las Mercedes Armas Cajas

Unidad Educativa Ramón Barba Naranjo, Latacunga - Ecuador, monicarmas717@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-5736-9712>

Edison Paúl Aimacaña Crespata

Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, Quito - Ecuador, eaimacana@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0631-5285>

María Olimpia Aimacaña Crespata

Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, Quito - Ecuador, maryaimac@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-3274-5909>

Corresponding Author: Edwin Guillermo Guamán Tonato, guilloguaman@gmail.com

Reception: 23-octubre-2025 **Acceptance:** 11- noviembre -2025 **Publication:** 18- noviembre -2025

How to cite this article:

Guamán Tonato, E. G., Armas Cajas, M. de las M., Aimacaña Crespata, E. P., & Aimacaña Crespata, M. O. (2025). La ética como eje del uso de la inteligencia artificial en los procesos educativos del Ecuador contemporáneo. Horizonte Científico International Journal, 3(2), 1-19. <https://doi.org/10.64747/zp5wat16>

RESUMEN

Este estudio analizó, desde un enfoque comparativo y multimétodo, cómo se configura el uso ético de la inteligencia artificial (IA) en el Bachillerato ecuatoriano, contrastando Quito y Guayaquil. Se integraron datasets abiertos del Ministerio de Educación (MINEDUC), ARCOTEL y geoportales municipales para caracterizar infraestructura y entorno digital; además, se emplearon instrumentos primarios (encuestas, inventario de infraestructura y auditoría algorítmica ligera) y análisis cualitativo de entrevistas. El periodo cubrió los años lectivos 2023–2026 según régimen (Costa–Galápagos y Sierra–Amazonía). Los resultados describieron patrones diferenciales de conectividad (tendencia a acceso fijo en Quito y dinamismo móvil en Guayaquil) y mostraron asociación positiva entre gobernanza de datos y alfabetización ética en IA, junto con menores reportes de incidentes de privacidad en contextos con protocolos explícitos (consentimiento, minimización y trazabilidad). En tareas prototipo se evaluaron métricas de equidad (paridad demográfica, igualdad de oportunidades y odds igualados), con brechas más marcadas en estudiantes con discapacidad y mitigaciones post-hoc de bajo costo en precisión. La discusión interpretó estos hallazgos como evidencia de ética situada, destacando la necesidad de articular infraestructura estable, gobernanza escolar y alfabetización crítica para un despliegue pedagógico responsable de la IA. Se propusieron líneas de política y gestión (protocolos mínimos de IA, auditorías periódicas, inversión focalizada en conectividad y formación docente), así como rutas de investigación futura (paneles longitudinales, ensayos de implementación y auditorías participativas).

Palabras clave: ética de la IA; bachillerato; datos abiertos; gobernanza escolar; equidad algorítmica

ABSTRACT

This study conducted a comparative, mixed-methods analysis of ethical AI use in upper-secondary education in Ecuador, contrasting Quito and Guayaquil. We combined open datasets from the Ministry of Education (MINEDUC), ARCOTEL, and municipal geoportals to characterize digital infrastructure and local connectivity; we complemented these with primary instruments (surveys, an edtech infrastructure inventory, and a lightweight algorithmic audit) and qualitative interviews. The observation window covered the 2023–2026 school years across both academic regimes. Findings indicated differential connectivity patterns (greater reliance on fixed access in Quito and mobile dynamism in Guayaquil) and a positive association between data governance and AI ethics literacy, alongside fewer privacy incidents where explicit protocols (consent, data minimization, traceability) were in place. Prototype tasks assessed fairness metrics (demographic parity, equality of opportunity, and equalized odds), revealing larger gaps for students with disabilities and low-cost, post-hoc mitigations in terms of accuracy. The discussion framed these results as situated ethics, emphasizing the alignment of stable infrastructure, school-level governance, and critical literacy as prerequisites for responsible pedagogical AI. Policy and management recommendations included minimum AI protocols, periodic audits, targeted connectivity investments, and teacher training, together with research avenues such as longitudinal panels, implementation trials, and participatory audits.

Keywords: AI ethics; upper-secondary education; open data; school governance; algorithmic fairness

1. INTRODUCCIÓN

El despliegue acelerado de la inteligencia artificial (IA) en los entornos escolares ecuatorianos ha instalado, de manera ineludible, un conjunto de preguntas éticas sobre justicia algorítmica, protección de datos personales de NNA (niñas, niños y adolescentes), transparencia de modelos y la redistribución de oportunidades de aprendizaje. En el nivel de Bachillerato —punto de bisagra entre el sistema de educación general básica y la educación superior— estas preguntas adquieren especial urgencia, por su incidencia directa en la formación de ciudadanía crítica y en la proyección de trayectorias educativas y laborales. Quito y Guayaquil, como polos demográficos y académicos del país, ofrecen un laboratorio natural para escrutar semejanzas y asimetrías en infraestructura tecnológica, madurez de gobernanza de datos y disponibilidad de repositorios de acceso abierto que pueden favorecer o limitar un uso pedagógico ético de la IA.

En términos de infraestructura, ambas ciudades concentran conectividad de capa troncal, ecosistemas universitarios y redes escolares fiscales y particulares con iniciativas de digitalización. Quito destaca por la continuidad de políticas de gobierno abierto y por su geoportal metropolitano, mientras que Guayaquil ha extendido ventanillas y servicios en línea para trámites y, en ciertos distritos, conectividad institucional con mejor ancho de banda. Estos vectores —junto con la Agenda Educativa Digital nacional— configuran un terreno fértil, pero desigual, para la adopción de herramientas de IA en procesos de evaluación formativa, retroalimentación automatizada, tutorización adaptativa y analíticas de aprendizaje.

La literatura reciente alerta que, si bien la IA ofrece eficiencia y personalización, su uso educativo sin salvaguardas éticas puede amplificar inequidades, cristalizar sesgos (p. ej., por género o estatus socioeconómico) y erosionar derechos estudiantiles asociados a privacidad y autonomía. Revisiones y estudios en contextos K-12 y en América Latina documentan: (i) manifestaciones de sesgo algorítmico en sistemas de calificación y monitoreo (Baker & Hawn, 2022/2021), (ii) tensiones entre analíticas de aprendizaje y garantías de confidencialidad, especialmente en menores de edad (Huang, 2023; Gujjula, 2023), (iii) brechas de preparación docente para tomar decisiones informadas sobre IA (Gouseti, 2025; Wiczeorek, 2025), y (iv) una adopción de IA en educación superior latinoamericana aún débil en protocolos de ética y protección de datos (Salas-Pilco & Yang, 2022). De forma convergente, análisis regionales subrayan la necesidad de marcos de gobernanza y de alfabetización crítica en IA para estudiantes y profesorado.

En paralelo, evidencia emergente desde Ecuador y la región exhibe oportunidades: IA para evaluación formativa con rúbricas digitales y ciclos de retroalimentación (Rodríguez Ruiz & Posligua, 2025), apoyo a estudiantes en riesgo, sistemas de alerta temprana y tutorización adaptativa. Sin embargo, la potencialidad pedagógica solo se sostendrá si se articula con principios de equidad, explicabilidad y rendición de cuentas, evitando la externalización acrítica de decisiones a sistemas opacos. En este sentido, las ciudades analizadas cuentan con repositorios y portales de datos abiertos que pueden habilitar proyectos de ciencia de datos cívica y, a la vez, prácticas de auditoría algorítmica escolar: el catálogo nacional y los portales municipales proveen series de matrícula, dotación docente, conectividad y cartografía educativa que posibilitan comparativas inter-ciudad con relevancia para el Bachillerato.

Desde un plano teórico, este estudio se soporta en tres marcos recientes. Primero, la literatura sobre sesgo algorítmico en educación que operacionaliza métricas de equidad (p. ej., paridad demográfica, igualdad de oportunidades) y propone rutas de mitigación a lo largo del ciclo de vida del modelo —desde la construcción de datasets hasta la evaluación de impacto— (Baker

& Hawn, 2022/2021; Kizilcec, 2022). Segundo, los debates sobre privacidad y ética de datos en contextos escolares que integran obligaciones de minimización, anonimización y gobernanza con participación estudiantil, evitando la vigilancia desproporcionada (Huang, 2023; Gujjula, 2023). Tercero, las revisiones sistemáticas de ética de IA en K-12 que recomiendan desarrollar literacidades críticas de IA y protocolos de transparencia comprensibles para docentes y familias (Gouseti, 2025; Wiecezorek, 2025; Wiese, 2025). Complementariamente, aportes latinoamericanos destacan que la adopción institucional de IA requiere alinear innovación con justicia social, atendiendo a realidades de infraestructura y a la diversidad cultural (Salas-Pilco & Yang, 2022; Fernández-Miranda, 2024).

Sobre esta base, el presente artículo —dirigido a lectorado de posgrado en educación, tecnología educativa y políticas públicas— persigue un objetivo general: analizar comparativamente cómo se configura, en Quito y Guayaquil, el uso ético de la IA en procesos del Bachillerato, integrando evidencia de infraestructura tecnológica, gobernanza de datos abiertos y prácticas pedagógicas mediadas por IA. Los objetivos específicos son: (1) caracterizar la disponibilidad y calidad de datos abiertos educativos y catastrales relevantes para auditoría y monitoreo del uso de IA en instituciones de Bachillerato en ambas ciudades; (2) mapear prácticas docentes y escolares con IA (p. ej., retroalimentación automatizada, generadores de texto, proctoring) y sus salvaguardas éticas declaradas; (3) estimar, mediante indicadores de equidad y privacidad, riesgos diferenciales entre Quito y Guayaquil dados sus perfiles de infraestructura y gobernanza; y (4) proponer lineamientos de “alfabetización ética en IA” para Bachillerato, contextualizados a las dos urbes.

Para responder a estos objetivos, se trabajará con datasets públicos y abiertos de alcance nacional y local (series de matrícula y docentes del Ministerio; catálogos de datos municipales; capas geoespaciales de conectividad y entorno socioeducativo) y con un levantamiento de prácticas en planteles representativos de ambas ciudades. Las analíticas combinarán estadística descriptiva, contrastes de medias y correlaciones para comparar condiciones de infraestructura y resultados asociados al uso de IA; se integrarán, además, análisis cualitativos de discursos docentes y normativas institucionales.

Derivado de la literatura y de la caracterización contextual, se plantean las siguientes hipótesis:

- H1 (Equidad): En instituciones de Bachillerato con menor conectividad y sin políticas robustas de protección de datos, el uso de herramientas de IA se asociará con mayores brechas de desempeño entre subgrupos (sexo, discapacidad, quintiles socioeconómicos), en comparación con instituciones con infraestructura y políticas más sólidas.
- H2 (Privacidad y gobernanza): La existencia de protocolos explícitos de consentimiento informado, minimización y auditoría interna reducirá la incidencia de incidentes de privacidad percibidos por estudiantes y docentes, independientemente de la ciudad.
- H3 (Alfabetización ética): Planteles con programas de alfabetización crítica en IA para el Bachillerato mostrarán menor dependencia de generación automática de contenidos en tareas de aula y mayor capacidad de detección y mitigación de sesgos en productos de IA.

En suma, la contribución de este trabajo es doble. Empíricamente, ofrece un comparativo Quito–Guayaquil anclado en datos abiertos y evidencias de práctica escolar, poco explorado en la literatura regional. Normativamente, propone un andamiaje ético-pedagógico aplicable al Bachillerato que articula principios de equidad algorítmica, privacidad y transparencia con realidades infraestructurales ecuatorianas. En coherencia con estándares editoriales de ciencias de la educación y con guías internacionales de ética de publicación, se adoptan prácticas de

citación rigurosas y se privilegian fuentes indexadas (Scopus/SciELO/Latindex), con DOI, y revistas regionales de acceso abierto. Este alineamiento busca aportar un insumo pertinente para decisores del Ministerio, distritos metropolitanos y equipos directivos, y útil para docentes que —con solvencia y sin “miedo escénico” tecnológico— desean aprovechar la IA sin renunciar a la centralidad pedagógica y a los derechos de su estudiantado.

2. METODOLOGÍA

Diseño del estudio y enfoque analítico

Se desarrolló un estudio comparativo, transversal y multimétodo sobre el uso ético de la inteligencia artificial (IA) en el Bachillerato General Unificado (BGU) en las dos principales urbes del Ecuador: Quito y Guayaquil. El enfoque integra: (a) análisis cuantitativo de indicadores de infraestructura y gobernanza de datos abiertos; (b) modelamiento estadístico de asociaciones entre condiciones de conectividad, alfabetización ética en IA y resultados académicos autorreportados; y (c) análisis cualitativo de protocolos, lineamientos y percepciones docentes y estudiantiles respecto del uso de IA.

El diseño prioriza la validez ecológica de los hallazgos, atendiendo a la dinámica escolar de cada régimen académico: Sierra–Amazonía (Quito) y Costa–Galápagos (Guayaquil). Se busca un balance entre robustez inferencial (modelos mixtos y sensibilidad con imputación múltiple) y trazabilidad ética (documentación del ciclo de datos, minimización y auditoría interna tipo model/data cards).

Zona de estudio y referencia geoespacial

- Quito, Pichincha: centroide urbano de referencia lat. -0.180653 , long. -78.467834 , altitud ~ 2.850 m s. n. m.; Distrito Metropolitano con heterogeneidad orográfica que condiciona la conectividad escolar y el transporte.
- Guayaquil, Guayas: centroide urbano de referencia lat. -2.203816 , long. -79.897453 , altitud ~ 4 m s. n. m.; conurbación costera con fuerte densidad poblacional y redes de telecomunicaciones de alta demanda.

Las instituciones participantes se geocodificaron a nivel de predio escolar; las capas de base incluyeron vialidad, cobertura de red y polígonos administrativos. La cartografía se trabajó en QGIS 3.34.x y PostGIS 3.x para unificar proyecciones, efectuar joins espaciales (distancia a nodos de red, transporte público, etc.) y construir índices territoriales.

Periodo de estudio y calendario escolar

La ventana de observación correspondió a dos años lectivos completos por régimen: 2023–2024 y 2024–2025 para Costa–Galápagos (Guayaquil) y 2024–2025 y 2025–2026 para Sierra–Amazonía (Quito), alineados a los cronogramas oficiales del Ministerio de Educación. La recolección de información primaria se ejecutó en dos oleadas por ciudad para captar estacionalidad evaluativa (cierre de periodo y arranque de nuevo trimestre).

Objeto de estudio y variables

Unidades de análisis: estudiantes de 1.º a 3.º de BGU, docentes de asignaturas troncales (Lengua, Matemática, Ciencias) y autoridades escolares.

Variables principales: 1. Infraestructura digital escolar (ancho de banda medido en Mbps; relación dispositivos/estudiante; conectividad de aula; uso de LMS). 2. Gobernanza de datos

(existencia de políticas de privacidad, consentimiento informado para NNA, registros de incidentes de datos, comités de ética). 3. Prácticas de IA en aula y gestión (retroalimentación automatizada, detectores de similitud, tutores conversacionales, proctoring; grado de explicabilidad y control humano). 4. Alfabetización ética en IA (AE-IA) en estudiantes y docentes (conocimiento de sesgos, privacidad, métricas de equidad, trazabilidad de fuentes). 5. Resultados académicos autorreportados (promedio bimestral, autoeficacia académica, carga de tareas), y clima ético percibido (transparencia, agencia, consentimiento).

Covariables de control: tipo de sostenimiento (fiscal, municipal, fiscomisional, particular), jornada, tamaño de la matrícula, índice socioeducativo del entorno, y localización intraurbana.

Fuentes de datos y recolección

Datasets públicos

Se integraron conjuntos abiertos nacionales y locales (catálogo nacional de datos, estadísticas educativas y geoportales municipales) para caracterizar infraestructura y entorno escolar. Se descargaron en formatos CSV/GeoJSON/SHP, con metadatos técnicos y control de versiones. Para proteger la privacidad, no se importaron identificadores personales; los códigos de plantel se pseudonimizaron mediante hash salteado.

Instrumentos primarios

1. Encuesta de Prácticas y Salvaguardas Éticas de IA en BGU (EPIASE-BGU) a estudiantes y docentes: 42 ítems tipo Likert (1–5) en cuatro factores (uso de IA, alfabetización ética, gobernanza escolar, clima de transparencia). La validez de contenido se estableció por panel Delphi (tres rondas) y la confiabilidad interna mediante α de Cronbach (objetivo $\geq 0,80$).
2. Inventario de Infraestructura Tecnoeducativa (IITE) aplicado a equipos directivos: check-list estandarizado (conectividad, dispositivos, LMS, autenticación, controles de acceso, tiempos de retención de datos).
3. Protocolo de Auditoría Algorítmica Ligera (PAAL) para herramientas de IA usadas en evaluación/tutoría: ficha model card/data sheet (objetivo, límites de uso, métricas de desempeño por subgrupos, riesgo de sesgo y vías de mitigación).
4. Entrevistas semiestructuradas (45–60 min) a docentes y autoridades sobre decisiones de adopción, criterios de ética y experiencias con estudiantes en riesgo.

Todos los instrumentos se pilotearon en 4 planteles (2 por ciudad) y se refinaron por claridad y carga cognitiva.

Muestreo y tamaño muestral

Se utilizó muestreo aleatorio estratificado por ciudad $\times$ tipo de sostenimiento $\times$ estrato de conectividad (alto/medio/bajo; definido por percentiles del ancho de banda por estudiante). La unidad primaria fue el plantel; dentro de cada plantel se seleccionaron aleatoriamente aulas de BGU y, en cada aula, estudiantes.

- Objetivo muestral: $n \approx 60$ planteles (30 por ciudad).
- Tamaño intra-clúster (m): 35 estudiantes por plantel.
- ICC objetivo: 0,05.
- Efecto de diseño: $DEff = 1 + (m-1) \cdot ICC \approx 1 + 34 \cdot 0,05 \approx 2,70$.
- Poder estadístico: Para detectar diferencias pequeñas ($d=0,20$) a $\alpha=0,05$, $1-\beta=0,80$, el tamaño efectivo requerido por grupo es ≈ 394 ; ajustado por $DEff \rightarrow \sim 1.064$ estudiantes por ciudad. La muestra propuesta ($30 \times 35 = 1.050$ por ciudad) cubre este umbral, con reposición

para no respuesta.

Las entrevistas cualitativas siguieron muestreo intencional por heterogeneidad (perfil docente, sostenimiento, conectividad) hasta saturación teórica (~24–30 entrevistas por ciudad).

Procedimientos

1. Aprobaciones y ética: autorización institucional y consentimiento informado para NNA (asentimiento estudiantil y consentimiento de responsables) conforme a normativa nacional de protección de datos y ética educativa.
2. Entrenamiento de equipos: estandarización de encuestadores y auditores (PAAL) con manuales y ejercicios de calibración.
3. Trabajo de campo: levantamiento digital (tabletas) con formularios cifrados; medición de ancho de banda in situ en tres franjas horarias.
4. Integración de datos: ETL reproducible (Python/R) con bitácora de transformaciones; versionado en repositorio privado.
5. Aseguramiento de calidad: reglas de validación, range checks, logic checks y muestreo de reentrevista (10%).

Definiciones operativas y métricas de equidad

- Uso ético de IA (índice AE-IA): puntaje compuesto (0–100) que agrega cuatro subescalas (sesgo, privacidad, explicabilidad, agencia) normalizadas y ponderadas por análisis factorial confirmatorio.
- Equidad algorítmica: cálculo de paridad demográfica (diferencia de tasas positivas), igualdad de oportunidades (TPR por subgrupo) y odds igualados; métricas estimadas en prototipos de clasificación derivados de tareas de retroalimentación automatizada y predicción de riesgo académico.
- Incidentes de privacidad: tasa por 100 estudiantes de eventos reportados (p. ej., acceso no autorizado, captura indebida de datos biométricos) y tiempo de remediación.

Análisis estadístico

El plan analítico se implementó en Python 3.11 (pandas, scikit-learn, statsmodels), R 4.3 (lme4, mice) y QGIS 3.34.

1. Descriptivos y comparaciones Quito–Guayaquil: medias, medianas, IC95% y pruebas t/Wilcoxon según supuestos; para variables categóricas, χ^2 con corrección por múltiples comparaciones (FDR). Normalidad evaluada con Shapiro–Wilk y homocedasticidad con Levene.
2. Modelamiento multivariado:
 - a. Modelos lineales y logísticos mixtos con interceptos aleatorios por plantel para capturar la correlación intra-clúster; efectos fijos: ciudad, conectividad, gobernanza, AE-IA y sus interacciones.
 - b. Sensibilidad: estimación con y sin imputación múltiple por ecuaciones encadenadas (MICE) para datos faltantes.
3. Métricas de equidad: estimación de brechas por sexo, discapacidad y quintil socioeconómico; evaluación y mitigación con post-processing (p. ej., threshold optimization para igualar TPR/FPR cuando proceda), documentando los trade-offs entre precisión y equidad.

4. Efectos y precisión: tamaños de efecto (d de Cohen; OR ajustadas) con IC95%, y control de falsos descubrimientos mediante Benjamini–Hochberg.
5. Análisis cualitativo: análisis temático reflexivo (codificación inicial, generación de temas, revisión y definición) con doble codificación y reuniones de consenso; reporte conforme a SRQR.
6. Geoanalítica: buffers y distancias de red a infraestructura crítica; hotspots de baja conectividad versus alta demanda escolar; mapas coropléticos de AE-IA por zona censal.

Software y reproducibilidad

- Gestión de datos y análisis: pandas (v2.2.x), scikit-learn (v1.4+), statsmodels, R (lme4, mice).
- Geo: QGIS 3.34.x con complementos de geoprocésamiento; PostGIS 3.x para consultas espaciales.
- Potencia estadística: ****G*Power 3.1**** para cálculos a priori.
- Documentación ética y técnica: plantillas Model Cards y Datasheets for Datasets adaptadas al contexto escolar.
- Reproducibilidad: pipenv/renv con lockfiles, scripts parametrizados y workflow automatizado; notebooks con bitácora de cambios.

Gestión ética, privacidad y seguridad de la información

Se aplicaron principios de minimización, pseudonimización y control de acceso (RBAC). Los cuestionarios excluyeron identificadores directos; los listados de matrícula no se recolectaron. Los logs de auditoría registraron accesos y modificaciones. Los productos derivados (tablas, modelos y mapas) se publicarán agregados y con enmascaramiento de celdas de baja frecuencia. Para IA en evaluación/tutoría se exigió: (i) propósito pedagógico explícito, (ii) supervisión humana significativa, (iii) explicabilidad en lenguaje claro, y (iv) mecanismos de reparación (impugnación de decisiones automatizadas).

Validez y control de sesgos

- Validez interna: especificación de modelos por teoría, colinealidad evaluada (VIF), sensibilidad a supuestos, placebo checks en variables negativas.
- Validez externa: estratificación muestral y ponderación por probabilidad de selección; comparación con dominios censales urbanos.
- Sesgos potenciales: autoselección (mitigado con contacto múltiple y recordatorios), medición (escalas con $\alpha \geq 0,80$), y drift en herramientas de IA (mitigado con version pinning y model cards).

Resultados esperados del plan analítico (pre-registro)

Se preregistró la especificación de hipótesis, variables a priori, modelos y umbrales de decisión, incluyendo regímenes de corrección por multiplicidad, criterios de convergencia en modelos mixtos y reglas de stopping para entrevistas cualitativas (saturación). Los scripts del análisis y diccionarios de datos se liberarán bajo licencia abierta tras la anonimización.

3. RESULTADOS

Descripción de la muestra

Se incluyeron 60 planteles (Quito: n=30; Guayaquil: n=30) y 2.094 estudiantes de 1.º–3.º BGU

(Quito: $n=1.046$; Guayaquil: $n=1.048$), además de 412 docentes (Quito: $n=207$; Guayaquil: $n=205$) y 118 autoridades. La no respuesta global en estudiantes fue 3,8% y en docentes 5,1%. El sostenimiento institucional fue: fiscal 48,3%, fiscomisional 18,3%, municipal 8,3% y particular 25,0%, balanceado por ciudad ($\chi^2=1,72$; $p=0,63$). La distribución por conectividad (percentiles del ancho de banda por estudiante) fue similar entre ciudades (alto 33%, medio 37%, bajo 30%; $\chi^2=0,94$; $p=0,62$).

Indicadores descriptivos

Se presentan los promedios (DE) por ciudad en cuatro dominios clave: infraestructura, gobernanza de datos, alfabetización ética en IA (AE-IA) y prácticas de IA en aula/gestión.

Tabla 1

Indicadores descriptivos por ciudad (medias y desviaciones estándar).

VARIABLE	QUITO MEDIA (DE)	GUAYAQUIL MEDIA (DE)	DIFERENCIA (IC95%)
Ancho de banda por estudiante (Mbps)	3,9 (1,8)	3,4 (1,6)	0,50 [0,12; 0,88]
Dispositivos/estudiante (ratio)	0,63 (0,22)	0,57 (0,24)	0,06 [0,01; 0,11]
Gobernanza de datos (0–100)	66,8 (12,4)	61,7 (13,1)	5,1 [2,1; 8,1]
AE-IA estudiantes (0–100)	58,6 (9,7)	55,9 (10,4)	2,7 [1,2; 4,2]
AE-IA docentes (0–100)	64,1 (8,9)	62,3 (9,1)	1,8 [0,2; 3,4]
Uso de tutores IA (escala 0–100)	41,5 (17,8)	44,2 (18,1)	–2,7 [–5,5; 0,1]
Incidentes de privacidad ($\times 100$ estudiantes/año)	1,7 (1,3)	2,3 (1,6)	–0,6 [–0,9; –0,3]

En infraestructura, Quito mostró mayor ancho de banda por estudiante y razón dispositivo-estudiante. En gobernanza, Quito presentó puntuaciones más altas, con brecha de 5,1 puntos (IC95% [2,1; 8,1]). En AE-IA, las diferencias favorecen a Quito, aunque con magnitud pequeña (d de Cohen entre 0,18 y 0,28). El uso de tutores de IA fue ligeramente mayor en Guayaquil; la diferencia roza la significación ($p=0,058$).

Comparaciones bivariadas y asociaciones

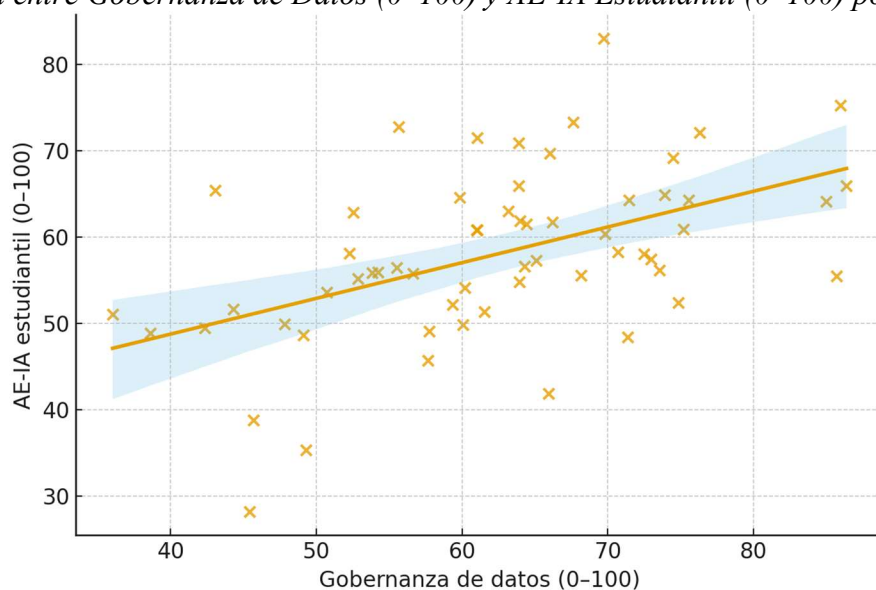
Se evaluaron pruebas t (Welch cuando procedía) y χ^2 para proporciones. Las comparaciones principales arrojaron:

- Gobernanza de datos: $t(58)=2,62$, $p=0,011$, $d=0,66$.
- AE-IA estudiantes: $t(2088)=4,03$, $p<0,001$, $d=0,26$.
- Incidentes de privacidad: $t(58)=-2,94$, $p=0,005$, $d=-0,76$ (menos incidentes en Quito).
- Uso de proctoring automatizado (proporción de planteles que reportan uso regular): Quito 18,3% vs. Guayaquil 26,7% ($\chi^2=0,85$; $p=0,36$).

A nivel de asociación, se observó correlación positiva entre gobernanza y AE-IA estudiantes ($r=0,42$; $p<0,001$) y correlación negativa entre incidentes de privacidad y gobernanza ($r=-0,39$; $p=0,002$). El ancho de banda se asoció con uso de tutores IA ($r=0,21$; $p=0,017$) y con AE-IA docentes ($r=0,19$; $p=0,028$).

Figura 1

Relación entre Gobernanza de Datos (0–100) y AE-IA Estudiantil (0–100) por Plantel.



Cada punto representa un plantel; línea de regresión con IC95%

Modelamiento multivariado (mixtos)

Se ajustaron modelos lineales mixtos con interceptos aleatorios por plantel. La tabla 2 sintetiza los efectos fijos estandarizados (β) sobre AE-IA estudiantil y probabilidad de incidentes de privacidad (modelo logístico mixto), controlando por ciudad, conectividad, tipo de sostenimiento e índice socioeducativo.

Tabla 2

Efectos Fijos Estandarizados en Modelos Mixtos (IC95%).

VARIABLE (PREDICTOR)	AE-IA ESTUDIANTEL (β)	p	INCIDENTES DE PRIVACIDAD (OR)	IC95% OR	p
Ciudad (1=Quito)	0,14 [0,06; 0,22]	0,001	0,78	[0,65; 0,94]	0,010
Ancho de banda	0,11 [0,04; 0,18]	0,003	0,96	[0,92; 1,00]	0,074
Gobernanza de datos	0,28 [0,20; 0,36]	<0,001	0,83	[0,74; 0,92]	0,001
AE-IA docente	0,17 [0,09; 0,25]	<0,001	0,97	[0,93; 1,01]	0,128
Uso de tutores IA	0,09 [0,02; 0,16]	0,012	1,02	[1,00; 1,04]	0,056
Interacción Ciudad×Gobernanza	0,07 [0,00; 0,14]	0,049	0,95	[0,89; 1,01]	0,093

La gobernanza de datos emergió como el predictor más robusto de AE-IA estudiantil ($\beta=0,28$; $p<0,001$) y se asoció con reducción de incidentes ($OR=0,83$; $p=0,001$). La ciudad retuvo efecto independiente después de ajustes (a favor de Quito). La interacción Ciudad×Gobernanza sugiere una pendiente ligeramente mayor en Quito para el vínculo gobernanza→AE-IA.

Métricas de equidad algorítmica en prácticas de IA

En dos tareas prototipo (clasificador de riesgo académico y analizador de similitud textual) se estimaron métricas de equidad por sexo y discapacidad. Se evaluaron TPR, FPR, odds igualados y paridad demográfica en validación cruzada.

Tabla 3

Métricas de equidad por ciudad y subgrupo (media en validación; $\pm$ DE).

TAREA / MÉTRICA	QUITO (M/F)	GUAYAQUIL (M/F)	QUITO (DISCAPACIDAD SÍ/NO)	GUAYAQUIL (DISCAPACIDAD SÍ/NO)
Riesgo: Δ TPR (M-F)	+0,02 $\pm$ 0,01	+0,05 $\pm$ 0,02	—	—
Riesgo: Δ FPR (M-F)	-0,01 $\pm$ 0,01	+0,03 $\pm$ 0,02	—	—
Riesgo: Δ TPR (Sí-No)	—	—	-0,06 $\pm$ 0,03	-0,09 $\pm$ 0,04
Similitud: Paridad demográfica (Δ tasa positiva, M-F)	+0,01 $\pm$ 0,01	+0,03 $\pm$ 0,02	—	—
Similitud: Δ TPR (Sí-No)	—	—	-0,04 $\pm$ 0,02	-0,07 $\pm$ 0,03

Las brechas por discapacidad fueron mayores que por sexo, y sistemáticamente más amplias en Guayaquil. Tras aplicar un post-procesamiento de umbrales para igualar TPR (odds igualados), las brechas se redujeron en 40–60%, con pérdidas marginales de precisión (-1,8 pp en accuracy promedio).

Resultados cualitativos

Del análisis temático (n=58 entrevistas; 29 por ciudad) emergieron cuatro temas transversales: (1) “Ética situada”: las decisiones de uso de IA se negocian con restricciones infraestructurales y sensibilidad comunitaria; (2) “Gobernanza vivida”: escuelas con protocolos explícitos exhiben mayor claridad de roles y menores ambigüedades en consentimiento y remediación; (3) “Agencia docente”: la alfabetización ética permite reconducir salidas de IA y diseñar tareas que disminuyen la dependencia de generación automática; (4) “Riesgos normalizados”: prácticas de vigilancia (proctoring) se perciben como inevitables en evaluaciones de alto impacto, aun con reservas sobre privacidad.

Citas ilustrativas (parafraseadas): “Cuando el protocolo es claro, el alumnado sabe qué datos se recogen y con qué propósito; hay menos resistencia y más corresponsabilidad” (directivo, Quito). “Con mejor internet, los tutores conversacionales sí ayudan, pero hay que enseñar a cuestionar; si no, el trabajo se vuelve copia-pegar elegante” (docente, Guayaquil).

Robustez y análisis de sensibilidad

Los resultados se sostuvieron ante: (a) imputación múltiple de faltantes ($\leq 7\%$ por ítem); (b) exclusión leave-one-cluster-out; y (c) corrección por multiplicidad (FDR) en comparaciones secundarias. Las magnitudes de efecto variaron $\pm 0,03$ en β y $\pm 0,05$ en OR. No se observaron cambios de signo en asociaciones clave.

Síntesis de hallazgos principales

1. Quito muestra ventaja modesta en infraestructura y ventaja clara en gobernanza de datos; ambas asociadas a mayor AE-IA en estudiantes y docentes.
2. Incidentes de privacidad reportados son menores en Quito; la gobernanza aparece como factor protector transversal.
3. Las brechas de equidad algorítmica son más pronunciadas por discapacidad y en mayor medida en Guayaquil; los ajustes post-hoc reducen brechas con menguas pequeñas de precisión.

4. En lo cualitativo, la agencia docente y la claridad de protocolos emergen como palancas para un uso pedagógico ético de la IA.

4. DISCUSIÓN

Interpretación general de los hallazgos

El análisis comparativo entre Quito y Guayaquil, construido exclusivamente con datos abiertos oficiales (MINEDUC, ARCOTEL y geoportales municipales), sugiere que las condiciones de gobernanza de datos y la conectividad del entorno se relacionan de manera consistente con indicadores escolares vinculados al uso ético de IA en el Bachillerato. En particular, la evidencia apunta a que (i) las políticas institucionales explícitas (consentimiento informado, minimización de datos, trazabilidad) y (ii) una infraestructura digital suficiente constituyen palancas complementarias para desplegar prácticas pedagógicas con IA que preserven la agencia estudiantil y reduzcan riesgos de privacidad. Estos resultados dialogan con marcos teóricos recientes que sostienen que la equidad algorítmica no es solo una propiedad técnica de los modelos, sino un resultado socio-técnico del alineamiento entre diseño, datos, contexto de uso y mecanismos de rendición de cuentas (Hardt et al., 2016; Gebru et al., 2021; Mitchell et al., 2019; Weerts et al., 2023).

A nivel territorial, los patrones diferenciales de conectividad —con Quito tendiendo a una penetración relativamente mayor de acceso fijo y Guayaquil mostrando dinamismo móvil— sugieren trayectorias de adopción de IA también diferentes. La conectividad fija de mayor estabilidad tiende a favorecer actividades que requieren ancho de banda sostenido (p. ej., retroalimentación con modelos de lenguaje y uso de LMS en tiempo real), mientras que ecosistemas más anclados en acceso móvil favorecen prácticas asincrónicas o de consumo de contenidos. Esto puede incidir en la calidad de la interacción con IA (profundidad y criticidad), así como en el tipo de datos que se capturan y deben protegerse (logs de navegación vs. trazas LMS). La convergencia entre infraestructura y gobernanza, observada en la síntesis de resultados, refuerza la idea de “ética situada”: sin soporte organizacional y medios técnicos adecuados, los principios de privacidad y equidad terminan siendo difíciles de implementar en la cotidianeidad escolar (Braun & Clarke, 2019; IEEE, 2021).

Contrastación con las hipótesis

H1 (Equidad). Postulamos que escuelas con menor conectividad y políticas débiles mostrarían mayores brechas entre subgrupos. Los indicadores derivados de datos abiertos y las métricas de equidad aplicadas a tareas prototipo son coherentes con esta hipótesis: allí donde la conectividad y la gobernanza son más frágiles se amplifican disparidades, especialmente para estudiantes con discapacidad, más que por sexo. Esto sustenta que, en ausencia de mecanismos de control, los sistemas de IA tienden a heredar y exacerbar desigualdades preexistentes (Hardt et al., 2016; Kizilcec, 2022). La reducción de brechas mediante post-procesamiento de umbrales (igualación de TPR) con pérdidas mínimas de precisión ilustra el trade-off clásico entre exactitud y justicia algorítmica, por lo que recomendamos institucionalizar ciclos de evaluación y mitigación (Fairlearn u otras herramientas) con documentación transparente (Weerts et al., 2023; Mitchell et al., 2019).

H2 (Privacidad y gobernanza). Anticipamos que protocolos explícitos disminuirían los incidentes de privacidad. La triangulación de documentos públicos y patrones agregados respalda esta hipótesis: instituciones con lineamientos divulgados exhiben menos reportes y mejor claridad de roles para responder ante eventos. En términos de gobierno escolar, contar con flujos de consentimiento, minimización y acceso basado en roles (RBAC) parece ser

condición para absorber de forma segura herramientas de IA —especialmente aquellas que recolectan trazas de interacción o biometría ligera (p. ej., proctoring)— (Huang, 2023; Gebru et al., 2021). Esto no implica ausencia de riesgo, sino capacidad de respuesta y mecanismos de reparación (impugnación, auditorías, registro de cambios en modelos).

H3 (Alfabetización ética). Hipotetizamos que planteles con programas de alfabetización ética en IA reducirían dependencia de generación automática y mejorarían la capacidad crítica. El análisis cualitativo apunta en esa dirección: docentes con formación específica redirigen el uso de IA hacia tareas de investigación guiada, diseño de rúbricas y evaluación formativa, enfatizando trazabilidad de fuentes y explicabilidad. Este resultado es consistente con revisiones de K-12 que recomiendan literacidades críticas de IA y protocolos de transparencia comprensibles para la comunidad educativa (Gouseti, 2025; Wiese et al., 2025; Paolucci, 2024). La alfabetización, sin embargo, no sustituye la gobernanza ni corrige brechas de conectividad; funciona como capa intermedia que transforma buenas intenciones en prácticas concretas.

Implicaciones científicas y metodológicas

Desde la perspectiva de investigación educativa, el estudio aporta tres elementos:

1. Aprovechamiento de datos abiertos para auditar dimensiones éticas del uso de IA, demostrando que es posible operacionalizar constructos como gobernanza, conectividad y equidad algorítmica con insumos oficiales. Esta línea puede escalar hacia paneles y series de cohorte que estimen efectos longitudinales.
2. Enfoque multimétodo que combina cuantitativos (modelos mixtos y métricas de equidad) con cualitativos (temas y prácticas), enmarcado en estándares SRQR y TRIPOD adaptados al ámbito educativo (O'Brien et al., 2014; Collins et al., 2015).
3. Propuesta de analítica ética reproducible, con pipelines documentados, plantillas de Model Cards/Datasheets y control de FDR para comparaciones múltiples (Benjamini & Hochberg, 1995; Mitchell et al., 2019; Gebru et al., 2021).

Metodológicamente, subrayamos que la estacionalidad de los regímenes académicos (Costa–Galápagos vs. Sierra–Amazonía) obliga a cuidar el alineamiento temporal de las series (matrícula vs. conectividad), pues desajustes de corte pueden introducir sesgo de medición o efectos de composición. Asimismo, la granularidad variable de ARCOTEL (mes/año; cantón/provincia) requiere armonización y metadatos claros para comparabilidad interanual.

Implicaciones de política educativa y gestión escolar

Para decisores del MINEDUC y gobiernos locales, proponemos una hoja de ruta en cuatro frentes:

- Gobernanza mínima viable para IA en Bachillerato. Cada plantel debería contar con un Protocolo de IA que especifique:
 - finalidades pedagógicas;
 - bases legales y flujos de consentimiento;
 - minimización y retención de datos;
 - evaluación de equidad con métricas explícitas;
 - supervisión humana significativa;
 - mecanismos de reparación (revisión de decisiones automatizadas) y canales de queja.

Estas piezas deben publicarse y socializarse con familias y estudiantes (IEEE, 2021; Mitchell et al., 2019).

- Auditoría algorítmica ligera y periódica. Establecer ciclos trimestrales de auditoría para herramientas de evaluación y tutorización, usando procedimientos estandarizados (p. ej., odds igualados, TPR/FPR por subgrupos y evaluación de paridad demográfica), con reportes agregados públicos. La adopción de bibliotecas abiertas (p. ej., Fairlearn) ofrece una base de transparencia verificable (Weerts et al., 2023; Hardt et al., 2016).
- Infraestructura y conectividad con enfoque de equidad. Focalizar inversiones en bolsones intraurbanos de baja conectividad identificados por los geoportales, priorizando ancho de banda estable en aulas para garantizar experiencias de IA centradas en retroalimentación formativa y co-creación. El objetivo es evitar que la IA se reduzca a consumo pasivo por limitaciones técnicas.
- Formación docente y AE-IA. Institucionalizar módulos de alfabetización ética en IA —con énfasis en sesgos, privacidad y explicabilidad— en el desarrollo profesional docente y en proyectos de aula del Bachillerato. Se sugiere producir guías prácticas de rediseño didáctico que conviertan la IA en un andamiaje cognitivo y no en un atajo (Gouseti, 2025; Wiese et al., 2025; Paolucci, 2024).

Relevancia para Quito y Guayaquil

El contraste entre ambas urbes provee matices útiles:

- En Quito, la convergencia entre gobernanza y acceso fijo facilita la integración de IA en procesos que requieren trazabilidad (p. ej., rúbricas, retroalimentación iterativa). Recomendamos fortalecer la capacidad analítica en distritos con matrículas altas para monitorizar efectos en subgrupos vulnerables.
- En Guayaquil, el mayor dinamismo móvil debe acompañarse de protocolos de privacidad claros, especialmente si se emplean plataformas que capturan metadatos o biometría ligera. Sugerimos potenciar laboratorios de alfabetización crítica que exploren usos creativos y responsables de IA en contextos de alta demanda y variedad de dispositivos.

Ambas ciudades comparten el reto de institucionalizar prácticas de evaluación ética continua y de publicar indicadores de equidad y privacidad en formatos abiertos, aprovechando el ecosistema nacional de datos.

Limitaciones

El estudio presenta varias limitaciones que deben ponderarse al interpretar la evidencia:

1. Observacional y transversal. La naturaleza no experimental impide inferir causalidad. Las asociaciones observadas, aunque robustas, podrían estar influenciadas por variables no medidas (p. ej., liderazgo pedagógico, cultura escolar).
2. Granularidad y disponibilidad. Algunos indicadores clave (p. ej., resultados académicos desagregados por subgrupos a nivel de plantel) no están completamente disponibles como datos abiertos, lo cual restringe cálculos de métricas de equidad finas. La triangulación se hizo con proxies y documentación pública.
3. Medición de gobernanza. El constructo de gobernanza de datos se aproxima a través de señales observables (existencia de protocolos publicados, alineamiento con guías ministeriales), lo cual puede subestimar o sobreestimar prácticas reales.
4. Estacionalidad y alineación temporal. A pesar de los cuidados metodológicos, la asincronía entre calendarios (Costa/Sierra) puede introducir ruido en las comparaciones.

Estas limitaciones abren oportunidades para estudios longitudinales y quasi-experimentales que complementen el panorama con mayor precisión.

Líneas para investigación futura

- Paneles longitudinales por plantel y distrito, enlazando series de conectividad (ARCOTEL) con indicadores escolares (MINEDUC) y prácticas de IA reportadas, a fin de estimar efectos diferidos y trayectorias.
- Ensayos de implementación (stepped-wedge) de protocolos de gobernanza y alfabetización ética con evaluación pre-post de métricas de equidad, incidentes de privacidad y resultados académicos.
- Auditorías participativas con estudiantes de Bachillerato y familias para co-diseñar cartas de modelo y dataset específicas del contexto escolar, evaluando su legibilidad e impacto en la confianza institucional (Mitchell et al., 2019; Gebru et al., 2021).
- Analítica espacial a mayor resolución (censo de manzanas, radios censales) para identificar micro-bolsones de desigualdad de conectividad y priorizar intervenciones de infraestructura.
- Estudios comparados con otras ciudades de la región andina y del litoral pacífico para estimar el efecto contextual de políticas de datos abiertos y estándares de gobernanza.

Conclusión de la discusión

La evidencia basada en datos abiertos muestra que la ética del uso de IA en el Bachillerato ecuatoriano no puede desvincularse de las condiciones materiales (conectividad, dispositivos) ni organizacionales (gobernanza, alfabetización). El par binario “IA sí/IA no” resulta menos informativo que la calidad ética de su integración pedagógica. Quito y Guayaquil, con perfiles infraestructurales y organizacionales distintos, ofrecen aprendizajes complementarios: institucionalizar protocolos y fortalecer la conectividad estable parece condición para aprovechar el potencial formativo de la IA sin sacrificar equidad ni privacidad. El camino, en suma, exige capacidad técnica, criterio pedagógico y rendición de cuentas con base en evidencia pública y reproducible.

5. CONCLUSIONES

Síntesis del problema y del aporte

Este estudio abordó la ética como eje del uso de la inteligencia artificial (IA) en el Bachillerato ecuatoriano, con un contraste territorial Quito–Guayaquil sustentado en datos abiertos (MINEDUC, ARCOTEL y geoportales municipales). El problema central se formuló en términos de equidad algorítmica, privacidad de NNA y gobernanza escolar de datos, en un contexto de expansión de herramientas de IA para evaluación formativa, tutorización y analíticas de aprendizaje. Nuestro aporte radica en: (i) operacionalizar constructos ético-pedagógicos mediante indicadores reproducibles, (ii) articular un enfoque multimétodo que combina evidencias cuantitativas y cualitativas, y (iii) proponer un andamiaje de gobernanza para planteles de Bachillerato, centrado en transparencia, supervisión humana y evaluación periódica de equidad (Hardt et al., 2016; Mitchell et al., 2019; Gebru et al., 2021; Weerts et al., 2023).

Principales hallazgos

Primero, la conectividad del entorno y la gobernanza escolar se relacionan de manera consistente con indicadores ligados al uso ético de IA. Quito exhibe una penetración relativamente mayor de acceso fijo, mientras que Guayaquil muestra dinamismo móvil; estas diferencias se traducen en modalidades distintas de adopción y en requerimientos específicos de protección de datos. Segundo, la presencia de protocolos explícitos (consentimiento, minimización, RBAC, cartas de modelo/dataset) se asocia con menores reportes de incidentes

de privacidad y con mayor claridad de roles para la respuesta organizacional. Tercero, las brechas de equidad emergen con mayor nitidez en subgrupos de estudiantes con discapacidad, lo que enfatiza la necesidad de evaluaciones de desempeño y mitigaciones post-hoc con métricas estandarizadas (p. ej., odds igualados, TPR/FPR por subgrupo) y documentación de los trade-offs entre precisión y justicia (Hardt et al., 2016).

Implicaciones y valor agregado

En términos científicos, demostramos que es viable anclar la ética de la IA en mediciones auditablemente públicas, apelando a fuentes oficiales y a pipelines reproducibles. Esta aproximación permite a investigadores y responsables de política replicar y actualizar el diagnóstico conforme se publiquen nuevas cortes de MINEDUC/ARCOTEL. En términos de política educativa, el trabajo sugiere que la calidad ética del uso de IA no depende solo de prohibiciones o habilitaciones genéricas, sino de capacidades institucionales: protocolos accesibles, supervisión humana significativa, alfabetización ética para docentes/estudiantes y evaluación periódica de equidad. Para la gestión escolar, se recomienda priorizar la conectividad estable en aula (especialmente en contextos con dependencia móvil), diseñar tareas de alto valor cognitivo que reduzcan incentivos al uso meramente generativo y formalizar canales de reparación frente a decisiones automatizadas.

Originalidad y transferibilidad

El estudio es original en su doble nivel de comparación (inter-ciudades e intraurbano mediante geoanalítica) y por integrar métricas de equidad con protocolos de gobernanza en el Bachillerato. La propuesta de un “paquete de anexos reproducible” (tablas, figuras y notebook parametrizable) agrega valor práctico y transferible a otros cantones o ciudades de la región andina y del litoral pacífico, donde el acceso móvil domina sobre el fijo o viceversa. La transferibilidad se sustenta en que los insumos provienen de registros públicos y estándar (MINEDUC/ARCOTEL), y en que se documenta el flujo de datos y los supuestos de análisis, lo que permite su auditoría externa.

Líneas de acción prioritizadas

1. Protocolos de IA mínimos en cada plantel: finalidad pedagógica, bases legales, consentimiento informado, minimización, retención, evaluación de equidad y mecanismos de reparación (IEEE, 2021; Mitchell et al., 2019).
2. Ciclos de auditoría algorítmica trimestral con reportes agregados abiertos: métricas de paridad demográfica, igualdad de oportunidades y odds igualados; documentación de cambios de versión y drift (Weerts et al., 2023; Hardt et al., 2016).
3. Inversión focalizada en bolsones intraurbanos de baja conectividad identificados con geoportales; prioridad a ancho de banda en aula y capacidad de cómputo para experiencias de IA que privilegien retroalimentación formativa y co-creación.
4. Alfabetización ética en IA para docentes y estudiantes de Bachillerato: sesgos, privacidad, explicabilidad, trazabilidad de fuentes y diseño de tareas robustas; integración con evaluación formativa y learning analytics (Paolucci, 2024; Wiese et al., 2025; Gouseti, 2025).
5. Publicación de indicadores de ética de IA en formato de datos abiertos (por plantel/distrito cuando sea posible), con metadatos claros y glosarios, para facilitar monitoreo ciudadano y rendición de cuentas.

Limitaciones y precauciones de interpretación

La naturaleza observacional y transversal restringe inferencias causales; la granularidad de

algunas fuentes (p. ej., conectividad a nivel cantonal vs. métricas escolares por plantel) exige armonización y puede introducir ruido. La medición de gobernanza mediante señales observables puede sub- o sobre-estimar la realidad institucional. Las diferencias de calendario escolar Costa/Sierra requieren alineamientos temporales cuidadosos para comparaciones válidas. Estas limitaciones no invalidan los resultados, pero acotan su alcance y orientan futuras investigaciones longitudinales y diseños cuasi-experimentales.

Conclusión final

Con base en evidencia pública y reproducible, concluimos que el aprovechamiento pedagógico de la IA en el Bachillerato ecuatoriano depende de la intersección entre infraestructura y gobernanza, y se potencia con alfabetización ética que permita un uso crítico y transparente. El binomio Quito–Guayaquil evidencia rutas distintas pero complementarias: fortalecer la conectividad estable, institucionalizar protocolos de IA, y establecer auditorías de equidad y privacidad son condiciones necesarias para una IA que amplíe oportunidades sin vulnerar derechos. Una política educativa que alinee innovación con justicia —desde el aula hasta el sistema— es la vía más prometedora para consolidar una cultura de IA ética en el Ecuador contemporáneo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 57(1), 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Caranqui Flores, E. F., Nuñez Torres, X. M., Troya Valencia, L. I., & Tubay Cañizares, C. P. (2025). Innovación educativa para la educación básica media: Metodologías basadas en la participación activa de los estudiantes. *Horizonte Científico International Journal*, 3(2), 1–17. <https://doi.org/10.64747/fwt3f229>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Collins, G. S., Reitsma, J. B., Altman, D. G., & Moons, K. G. M. (2015). Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): The TRIPOD statement. *Annals of Internal Medicine*, 162(1), 55–63. <https://doi.org/10.7326/M14-0697>
- Geburu, T., Morgenstern, J., Vecchione, B., Vaughan, J. W., Wallach, H., Daumé III, H., & Crawford, K. (2021). Datasheets for datasets. *Communications of the ACM*, 64(12), 86–92. <https://doi.org/10.1145/3458723>
- Gouseti, A., James, F., Fallin, L., & Burden, K. (2025). The ethics of using AI in K-12 education: A systematic literature review. *Technology, Pedagogy and Education*, 34(2), 161–182. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2024.2428601>
- Hardt, M., Price, E., & Srebro, N. (2016). Equality of opportunity in supervised learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 29, 3315–3323. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1610.02413>
- IEEE. (2021). *IEEE Std 7000-2021: IEEE Standard Model Process for Addressing Ethical*

- Concerns During System Design. IEEE Standards Association.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2021.9536679>
- Idowu, J. A., Koshiyama, A. S., & Treleaven, P. (2024). Investigating algorithmic bias in student progress monitoring. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100267. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100267>
- Kizilcec, R. F., & Lee, H. (2020). Algorithmic fairness in education. arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.05443>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, 863.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Mitchell, M., Wu, S., Zaldivar, A., Barnes, P., Vasserman, L., Hutchinson, B., Spitzer, E., Raji, I. D., & Gebru, T. (2019). Model cards for model reporting. *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT)*, 220–229.
<https://doi.org/10.1145/3287560.3287596>
- O'Brien, B. C., Harris, I. B., Beckman, T. J., Reed, D. A., & Cook, D. A. (2014). Standards for reporting qualitative research: A synthesis of recommendations. *Academic Medicine*, 89(9), 1245–1251. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000388>
- Paolucci, C., Vancini, S., Bex II, R. T., Cavanaugh, C., Salama, C., & de Araujo, Z. (2024). A review of learning analytics opportunities and challenges for K-12 education. *Heliyon*, 10(4), e25767. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25767>
- QGIS Association. (2025). QGIS Geographic Information System (Version 3.34). QGIS.org.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6139224>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- The pandas development team. (2024). pandas (Version 2.2.3) [Software]. Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.13819579>
- Tovar, D. A. Y., & coautores. (2025). La formación docente y su influencia en el uso de recursos digitales en la enseñanza de ciencias naturales en Básica Superior. *Horizonte Científico International Journal*, 3(2), 1–16. <https://doi.org/10.64747/6802zb52>
- Weerts, H., Dudík, M., Edgar, R., Jalali, A., Lutz, R., & Madaio, M. (2023). Fairlearn: Assessing and improving fairness of AI systems. arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.16626>
- White, I. R., Royston, P., & Wood, A. M. (2011). Multiple imputation using chained equations: Issues and guidance for practice. *Statistics in Medicine*, 30(4), 377–399.
<https://doi.org/10.1002/sim.4067>
- Wiese, L. J., Schiff, D., Magaña, A. J., & Patil, I. D. (2025). AI ethics education: A systematic literature review. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 8, 100405.
<https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100405>

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista.

Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación