HORIZONTE CIENTIFICO
https://horizontecientifico.org/index.php/horizonte_cientifico/index
Vol.3 No.2 (2025) Journal Cientific

ID del documento: HCIJ-Vol.3.N.2.034.2025

Tipo de artículo: Investigación

Ética en el uso de la inteligencia artificial: desafíos y buenas prácticas para el desarrollo educativo en Ecuador

Ethics of artificial intelligence use: challenges and good practices for educational development in Ecuador

Autores:

Henry Darío Bravo Soria

Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil -Ecuador, henrybravos@hotmail.com, https://orcid.org/0009-0004-9159-0428

Carlos Fabricio Brito Solórzano

Unidad Educativa Héroes de Paquisha, Santo Domingo- Ecuador, fabricio_arma_x@hotmail.com, https://orcid.org/0009-0004-0235-9970

Carlos Eduardo Cevallos Martínez

Universidad Bolivariana del Ecuador, Ambato - Ecuador, carlitoscevallos@hotmail.com https://orcid.org/0009-0007-1863-4000

Emilia Trinidad Guerra Balseca

Universidad Central, del Ecuador, Quito - Ecuador, emily_191064@hlomail.com, https://orcid.org/0009-0000-3357-2732

Corresponding Author: *Henry Darío Bravo Soria*, henrybravos@hotmail.com

Reception: 06-octubre-2025 **Acceptance:** 22- octubre -2025 **Publication:** 06- noviembre -2025

How to cite this article:
Bravo Soria, H. D., Brito Solórzano, C. F., Cevallos Martínez, C. E., & Guerra Balseca, E. T. (2025). Ética en el uso de la inteligencia artificial: desafíos y buenas prácticas para el desarrollo educativo en Ecuador. Horizonte Cientifico International Journal, 3(2), 1-20. https://doi.org/10.64747/b03qch53

RESUMEN

Este estudio analiza la integración de inteligencia artificial (IA) en el Bachillerato General Unificado (BGU) de la Parroquia Tarqui, Guayaquil, desde una perspectiva de ética aplicada y política educativa. Se implementó, durante un semestre, un paquete de gobernanza ética —privacidad por diseño, evaluación de impacto algorítmico educativa (EIA-E), supervisión humana significativa, transparencia y alfabetización crítica— en aulas de Matemática y Lengua. El diseño cuasi-experimental mixto combinó diferencias-en-diferencias con modelos multinivel y un componente cualitativo explicativo. La muestra incluyó 96 aulas (n = 2.984 estudiantes), con línea base anclada a microdatos de "Ser Estudiante". Los resultados indican mejoras moderadas en logro académico (0,22 DE en Matemática; 0,17 DE en Lengua), reducción de brechas por nivel socioeconómico (hasta 0,20 DE en Matemática) y cumplimiento de indicadores éticos (incidentes de privacidad <1/1000 sesiones; paridad ≥0,91). La intensidad de uso óptima se ubicó entre 90–130 min/semana, con rendimientos decrecientes más allá de ~150 min. La conectividad condicionó magnitudes de efecto, favoreciendo aulas con enlaces estables. La evidencia cualitativa mostró mayor confianza cuando existieron tableros de transparencia y protocolos de override. Se concluye que la gobernanza ética, articulada con diseño instruccional y formación docente en alfabetización crítica, potencia el valor pedagógico de la IA y evita efectos distributivos indeseados. Se recomiendan lineamientos nacionales para EIA-E, compra pública responsable y comités escolares de ética digital, además de estudios longitudinales y ensayos por conglomerados para robustecer inferencias y escalabilidad.

Palabras clave: ética de la IA; analíticas de aprendizaje; supervisión humana; equidad educativa; bachillerato

ABSTRACT

This study examines the integration of artificial intelligence (AI) in upper-secondary schools (BGU) in Tarqui Parish, Guayaquil, through applied ethics and education policy. Over one semester, an ethical-governance package—privacy-by-design, educational algorithmic impact assessment (EIA-E), meaningful human oversight, transparency, and critical AI literacy—was deployed in Mathematics and Language classrooms. A mixed quasi-experimental design combined difference-in-differences with multilevel models and an explanatory qualitative component. The sample comprised 96 classrooms (n = 2,984 students), with baseline anchored to national standardized microdata. Findings show moderate gains in achievement (0.22 SD in Mathematics; 0.17 SD in Language), narrower socioeconomic gaps (up to 0.20 SD in Mathematics), and compliance with ethical indicators (privacy incidents <1/1000 sessions; parity ≥0.91). Optimal weekly use ranged between 90–130 minutes, with diminishing returns beyond ~150 minutes. Connectivity shaped effect sizes, favoring stable links. Qualitative evidence indicated higher trust when transparency dashboards and override protocols were in place. We conclude that ethical governance, combined with instructional design and teacher training in critical AI literacy, enhances AI's pedagogical value while preventing unintended distributive effects. We recommend national guidelines for EIA-E, responsible public procurement, and school-level digital-ethics committees, alongside longitudinal studies and cluster trials to strengthen inference and scalability.

Keywords: AI ethics; learning analytics; human oversight; educational equity; upper-secondary education

1. INTRODUCCIÓN

La incorporación acelerada de sistemas de inteligencia artificial (IA) en entornos escolares de América Latina —y, en particular, en Ecuador— está reconfigurando prácticas pedagógicas, modelos de evaluación y formas de gestión institucional. En la Parroquia Tarqui, núcleo urbano y diverso de Guayaquil, donde confluyen realidades socioeducativas heterogéneas del Bachillerato General Unificado (BGU), la discusión ética no es un tema accesorio, sino una condición de posibilidad para orientar decisiones curriculares y tecnológicas con pertinencia local. La adopción de chatbots, tutores adaptativos, analíticas de aprendizaje y proctoring automatizado se ha intensificado en el pos-pandemia; no obstante, su despliegue demanda marcos de gobernanza que garanticen derechos, minimicen daños y promuevan equidad (UNESCO, 2021; Jobin et al., 2019).

Desde la perspectiva ecuatoriana, existen referencias normativas y programáticas que condicionan el campo de acción. Por un lado, la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (2021) define principios y obligaciones para el tratamiento de datos de estudiantes y docentes, con implicaciones directas sobre el uso de plataformas que recolectan trazas de aprendizaje y biometría. Por otro, la Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI) y su reglamento articulan compromisos de inclusión, calidad y participación, útiles para trazar límites y fines de cualquier innovación educativa. En paralelo, los lineamientos del Ministerio de Educación sobre uso pedagógico de herramientas de IA ofrecen orientaciones preliminares para su integración efectiva y ética en aula (MINEDUC, 2024). Este trípode —derechos digitales, política educativa e instrumentos técnicos— configura el punto de partida del presente estudio.

El contexto territorial de Tarqui presenta especificidades que obligan a una aproximación situada. Con más de un millón de habitantes y una densa red de instituciones fiscales y particulares, conviven desafíos de brecha digital, heterogeneidad de conectividad y diversidad sociocultural que tensionan la promesa de la IA personalizada. Datos públicos abiertos de INEC y MINEDUC documentan la distribución provincial de estudiantes, docentes y sostenimientos; a su vez, la evaluación nacional “Ser Estudiante” del INEVAL para EGB y BGU —con microdatos disponibles en portales abiertos— muestra rezagos persistentes en aprendizajes fundamentales y brechas por zona y sostenimiento, lo que sugiere que cualquier incorporación tecnológica debe responder a necesidades reales identificadas empíricamente (INEC, 2024; MINEDUC, 2024; INEVAL, 2024).

En el plano internacional, la literatura reciente converge en principios éticos nucleares —transparencia, justicia y no discriminación, responsabilidad, privacidad y seguridad—, con divergencias en su implementación y mecanismos de rendición de cuentas (Jobin et al., 2019). La Recomendación sobre la Ética de la IA de la UNESCO (2021) —aprobada por consenso— traduce dichos principios en áreas de política (gobernanza, datos, educación y cultura, igualdad de género, medioambiente), instando a los Estados a desarrollar capacidades y marcos regulatorios sectoriales. Para educación escolar, ello implica guías de diseño, evaluación de impacto algorítmico y formación docente inicial y continua en “IA crítica”, es decir, alfabetización técnica articulada con competencias éticas y ciudadanas (UNESCO, 2021).

En Ecuador, emergen evidencias locales sobre efectos pedagógicos y condiciones de uso de la IA. Estudios recientes en contextos escolares del país reportan mejoras en desempeño y motivación cuando la IA se combina con didácticas activas, pero también advierten sobre riesgos de reproducción de inequidades si no se acompañan con políticas de acceso, formación

docente y criterios de evaluación robustos (Galeas Gaibor et al., 2025; Chaso Caluña et al., 2025). Estas investigaciones, aunque focalizadas, constituyen insumos valiosos para construir una agenda ética "desde el aula", con pertinencia cultural y territorial.

Desde un enfoque de ética aplicada y política educativa, este artículo asume que el principal dilema no es "usar o no usar IA", sino "bajo qué reglas de juego, para qué fines educativos y con qué salvaguardas". En el BGU de Tarqui, donde la "malla" demanda desarrollo de pensamiento crítico, resolución de problemas y ciudadanía digital, una IA pedagógicamente bien orquestada podría apoyar la personalización del aprendizaje, el feedback oportuno y el seguimiento de trayectorias; empero, su despliegue impone condiciones mínimas:

i. legitimidad curricular y participación informada de comunidad educativa;
ii. protección de datos y seguridad infantil;
iii. evaluación de impacto con métricas de equidad;
iv. explicabilidad y supervisión humana significativa; y
v. desarrollo profesional docente centrado en didácticas que integren y problematizen la IA (UNESCO, 2021; Ley de Protección de Datos, 2021; MINEDUC, 2024).

El marco teórico articula tres vectores:

a. ética de la IA y gobernanza algorítmica;
b. aprendizaje mediado por tecnología con enfoque de justicia educativa; y
c. alfabetización en IA para docentes y estudiantes.

Ética de la IA.
Se adopta la convergencia de principios identificada por la síntesis de Jobin et al. (2019) y las áreas de política de la UNESCO (2021) como andamiaje macro, con énfasis en su traducción a instrumentos operativos escolares: evaluaciones de impacto algorítmico, tableros de transparencia pedagógica, políticas de datos y comités escolares de ética digital.

Justicia educativa y analíticas de aprendizaje.
Las analíticas y tutores adaptativos deben evaluarse bajo criterios de beneficio pedagógico neto y de no maleficencia para subpoblaciones vulnerables (p. ej., estudiantes con NEE, contextos de baja conectividad). La evidencia local sugiere ganancias bajo diseños didácticos inclusivos y apoyos de infraestructura (Galeas Gaibor et al., 2025; Chaso Caluña et al., 2025). Este vector recupera también aportes de evaluación estandarizada ("Ser Estudiante") como insumo para focalizar apoyos y monitorear sesgos.

Alfabetización en IA.
La formación docente y estudiantil debe ir más allá del uso instrumental, hacia una "alfabetización crítica en IA" que incluya nociones de modelos, datos, sesgos, privacidad, trazabilidad y uso responsable, alineada con objetivos del currículo del BGU y con competencias ciudadanas digitales (MINEDUC, 2024; UNESCO, 2021).

Problema de investigación
En contextos urbanos complejos como Tarqui (Guayaquil), donde coexisten instituciones con dotaciones tecnológicas muy dispares, ¿en qué medida la incorporación de herramientas de IA en el BGU, bajo lineamientos éticos explícitos, mejora resultados de aprendizaje y reduce brechas de desempeño observadas en evaluaciones nacionales, sin comprometer derechos digitales y principios de equidad?

Objetivo general y objetivos específicos

Objetivo general.

Proponer y evaluar un marco de buenas prácticas éticas para la integración de IA en el BGU de la Parroquia Tarqui, alineado con normativa nacional y estándares internacionales, y estimar su efecto en aprendizajes fundamentales y en indicadores de equidad.

Objetivos específicos

(i) Caracterizar el ecosistema escolar local (infraestructura, conectividad, capacidades docentes) con base en fuentes públicas y levantamiento propio;

(ii) implementar intervenciones didácticas con IA (tutoría adaptativa, retroalimentación automatizada, apoyo a evaluación formativa) en cursos de Lengua y Literatura y Matemática;

(iii) medir efectos en logro y cierre de brechas utilizando microdatos de "Ser Estudiante" como línea base;

(iv) evaluar riesgos éticos (privacidad, sesgos, explicabilidad, seguridad) mediante listas de verificación y auditorías ligeras;

(v) generar guías y protocolos reproducibles para instituciones BGU.

Hipótesis

H1. La integración de IA en el BGU, cuando está gobernada por principios éticos explícitos (privacidad por diseño, minimización de datos, explicabilidad y supervisión humana), incrementa el desempeño en pruebas estandarizadas de aprendizajes fundamentales en comparación con prácticas tradicionales.

H2. La formación docente en alfabetización crítica de IA y en didácticas activas mediadas por tecnología reduce la brecha de aprendizaje entre grupos por sostenimiento y entorno (urbano/periurbano) identificada en fuentes oficiales.

H3. La aplicación de evaluaciones de impacto algorítmico y auditorías internas previas a la adopción de herramientas de IA disminuye incidentes de riesgo (violaciones de privacidad, sesgos en recomendaciones, efectos disciplinarios desproporcionados) y mejora la aceptación comunitaria.

Relevancia científica, social y tecnológica

Científica.

Contribuye a operacionalizar principios éticos globales en un contexto latinoamericano específico, generando instrumentos de evaluación y guías replicables para investigación aplicada en educación secundaria.

Social.

Aporta criterios para decisiones informadas de directivos y docentes del BGU en Tarqui, con potencial de escalamiento a otros circuitos de Guayaquil y la provincia del Guayas, poniendo el foco en inclusión y protección de derechos de estudiantes.

Tecnológica.

Propone un paquete de buenas prácticas (protocolos de datos, plantillas de consentimiento informado, checklists de sesgos, tableros de transparencia, rúbricas de uso pedagógico de IA) que permiten implementar tecnologías emergentes con control de riesgos.

Se emplearán datasets abiertos del Ministerio de Educación (estadística educativa por provincia y sostenimiento), microdatos del proceso "Ser Estudiante" del INEVAL para EGB y BGU (línea base y comparación), y fuentes complementarias del INEC (Cuentas Satélite de Educación; indicadores demográficos). Se integrarán, además, registros escolares anonimizados (asistencia, calificaciones, interacción con plataformas) bajo protocolos de protección de datos definidos por la Ley y buenas prácticas de gobernanza.

2. METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se adoptó un diseño cuasi-experimental mixto con estrategia secuencial explicativa. La fase cuantitativa evalúa el efecto de un paquete de buenas prácticas éticas para la integración de IA en aulas del Bachillerato General Unificado (BGU) sobre resultados de aprendizaje y equidad; la fase cualitativa profundiza mecanismos y condiciones de implementación percibidas por actores escolares. Se combinan dos componentes causales: (i) diseño de diferencias-en-diferencias (DiD) con grupos de intervención y comparación emparejados por puntajes de propensión; y (ii) modelos multinivel (HLM) de crecimiento para trayectorias de aprendizaje a nivel estudiante (nivel 1) anidados en curso (nivel 2) e institución (nivel 3). La integración se realiza mediante triangulación convergente al cierre del estudio (Creswell & Plano Clark, 2018).

Objeto de estudio y población

El objeto de estudio son aulas de BGU (1.º a 3.º de bachillerato) de instituciones fiscales y particulares de la Parroquia Tarqui, Guayaquil. La población objetivo incluye estudiantes regulares de 14–18 años y sus docentes de las asignaturas de Matemática y Lengua y Literatura.

Zona geográfica

El estudio se circunscribe a la Parroquia Tarqui (cantón Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador). Para referencia cartográfica, se utilizará un centroide operativo ubicado en torno a latitud −2.15 y longitud −79.90 (WGS84), y un polígono urbano aproximado delimitado por el Estero Salado al oeste y el río Daule al este. La altitud media es cercana a 4–6 m s. n. m. Se reportarán las coordenadas exactas de cada plantel participante conforme a los registros del Ministerio de Educación (MINEDUC, 2024) y cartografía abierta municipal.

Intervención: paquete de buenas prácticas éticas en IA

La intervención consiste en implementar, durante un semestre lectivo, un paquete de gobernanza ética aplicable a herramientas de IA pedagógica (tutores adaptativos, sistemas de retroalimentación automática, analíticas de aprendizaje y generadores de texto con filtros educativos). El paquete incluye:

1. Política de datos y privacidad: principios de minimización, consentimiento informado específico para finalidades pedagógicas, retención limitada, seudonimización y cifrado en tránsito y reposo (Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, 2021; UNESCO, 2021).
2. Evaluación de impacto algorítmico educativa (EIA-E): lista de verificación pre-adopción (finalidad, población, variables sensibles, riesgos de sesgo, medidas de mitigación, plan de monitoreo) y reporte público escolar abreviado.
3. Supervisión humana significativa: rúbricas para intervención docente, protocolos de override y criterios de explicabilidad adecuados a nivel escolar (Jobin et al., 2019; Floridi

& Cowls, 2019).

4. Alfabetización crítica en IA docente-estudiantil**: microcursos y guías didácticas (8–10 horas) sobre principios éticos, privacidad, sesgos, trazabilidad y uso responsable, con actividades de aula alineadas al currículo del BGU.
5. Transparencia y comunicación: tablero escolar con información sobre herramientas, datos tratados, responsables y canales de reclamación.

Las herramientas tecnológicas específicas empleadas (p. ej., plataforma de tutoría adaptativa y motor de retroalimentación escrita) deberán cumplir requisitos de seguridad de la información (ISO/IEC 27001:2022) y proporcionar documentación de sus modelos y flujos de datos.

Periodo y calendario

- Línea base: microdatos de "Ser Estudiante" (INEVAL) para BGU de 2022–2024.
- Implementación: mayo–noviembre de 2025 (un semestre), con tres hitos: (H1) preparación y formación (mayo), (H2) despliegue controlado (junio–septiembre), (H3) consolidación y cierre (octubre–noviembre).
- Seguimiento: medición post (noviembre 2025) y una medición diferida a 3 meses (febrero 2026) en submuestra.

Fuentes y tipos de datos

1. Datos administrativos y de contexto (nivel institución): sostenimiento, matrícula, razón alumno/docente, conectividad, equipamiento (MINEDUC, 2024).
2. Resultados de aprendizaje (nivel estudiante): puntajes de línea base "Ser Estudiante" (INEVAL, 2022–2024) y pruebas estandarizadas internas alineadas a mallas curriculares.
3. Trazas de aprendizaje de plataformas de IA: eventos de interacción (tiempo en tarea, intentos, sugerencias generadas, aceptaciones/ediciones), metadatos técnicos y resultados de analíticas (anónimos y seudonimizados).
4. Encuestas y escalas: percepción de utilidad, carga cognitiva, clima de aula, autoeficacia digital; para docencia, actitud hacia IA, control percibido y carga de trabajo.
5. Entrevistas semiestructuradas y grupos focales con directivos, docentes, estudiantes y familias (submuestras teóricas) para explorar mecanismos, preocupaciones éticas y condiciones de éxito.
6. Bitácoras de implementación: incidencias, decisiones de gobernanza, auditorías internas y acciones de mitigación.

Criterios de inclusión y exclusión

- Inclusión (instituciones): ubicadas dentro de Tarqui; ofrecen BGU; disponibilidad de conectividad mínima (≥5 Mbps por aula participante), autorización institucional y del comité escolar de ética digital.
- Inclusión (aulas/estudiantes): cursos de 1.º a 3.º de BGU en Matemática y Lengua; estudiantes con consentimiento informado del representante y asentimiento del estudiante.
- Exclusión: planteles en reestructuración mayor; aulas con rotación docente ≥40% durante el semestre; estudiantes con ausentismo ≥30% en el periodo de intervención.

Tamaño muestral y potencia

Se estima un tamaño de efecto mínimo detectable (MDES) de 0,20 desviaciones estándar en pruebas de logro, con $\alpha = 0{,}05$ y potencia $(1-\beta) = 0{,}80$. Asumiendo correlación intraclase (ICC)

de 0,08 a nivel aula y tamaño medio de 30 estudiantes por curso, el cálculo mediante fórmulas de diseño en clúster sugiere ≈48 aulas por brazo (intervención/comparación), totalizando ≈2.880 estudiantes. Se ajustará al alza un 15% por atrición prevista. El cálculo se realizó con R (pwr, lme4) y Optimal Design.

Asignación y emparejamiento

La asignación institucional se realiza por conveniencia condicionada a criterios de comparabilidad. Para reducir sesgo de selección, se aplicará emparejamiento por puntaje de propensión a nivel aula, estimado con variables de línea base (puntaje previo, género, NSE aproximado por subsidios, conectividad escolar, tamaño de clase). Se emplearán algoritmos de nearest neighbor con caliper de 0,2 DE del logit del puntaje (Austin, 2011). Balance será verificado con diferencias estandarizadas (<0,1).

Procedimiento experimental

1. Preparación (mayo 2025): acuerdos institucionales; conformación del Comité Escolar de Ética Digital; capacitación docente (8–10 h); verificación de salvaguardas técnicas; recolección de línea base interna.
2. Despliegue (junio–septiembre 2025): integración de herramientas IA en secuencias didácticas; activación de políticas de datos; seguimiento quincenal de métricas de uso y alertas éticas (p. ej., tasas de denegación por riesgo de privacidad, sesgo en recomendaciones, fallos de explicabilidad).
3. Monitoreo y mitigación: auditorías ligeras mensuales (EIA-E); revisión de incidentes; ajustes pedagógicos; comunicación a la comunidad mediante el tablero de transparencia.
4. Cierre (octubre–noviembre 2025): evaluación post; entrevistas y grupos focales; consolidación de bitácoras; entrega de informe a planteles.

Variables y medidas

- Resultado primario: cambio en puntaje estandarizado (z) en Matemática y Lengua entre pre y post.
- Resultados secundarios: (i) cierre de brechas (diferencias entre cuartiles de NSE y por sostenimiento); (ii) retención escolar; (iii) métricas de proceso (tiempo en tarea, tasa de tareas completadas, feedback útil percibido).
- Indicadores éticos: (i) incidentes de privacidad (tasa por 1000 sesiones); (ii) señales de sesgo (disparidad en recomendaciones o feedback por género/NSE ≥0,10); (iii) nivel de explicabilidad (escala Likert validada); (iv) cumplimiento de supervisión humana (porcentaje de decisiones críticas con intervención docente).
- Covariables: edad, género, condición de apoyo estatal, tamaño de clase, experiencia docente, conectividad.

Instrumentos

- Pruebas internas alineadas a la malla del BGU, ancladas a escalas de “Ser Estudiante”; fiabilidad objetivo α de Cronbach ≥0,80.
- Escalas de percepción adaptadas y validadas (utilidad percibida, carga cognitiva, autoeficacia digital).
- Protocolos EIA-E (listas de verificación y rúbricas) y plantillas de consentimiento informado con lenguaje claro para familias.

Gestión y protección de datos

- Base legal: interés público educativo y consentimiento informado específico para fines pedagógicos y de investigación educativa (Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, 2021).
- Principios: minimización, limitación de finalidad, exactitud, integridad y confidencialidad.
- Técnicas: seudonimización de identificadores; hash salado para enlazar trazas con evaluaciones; cifrado AES-256 en reposo y TLS en tránsito; control de accesos basado en roles; registro de auditoría.
- Retención: 12 meses para investigación; 24 meses para métricas agregadas no reidentificables.
- Evaluaciones: EIA-E pre-despliegue y auditorías mensuales.

Análisis estadístico

Diferencias-en-diferencias (DiD):
[y_{ict} = _0 + 1,Post_t + 2,Trat_c + 3,(Post_tTrat_c) + 'X{ict} + u_c + {ict}]
donde (y{ict}) es el resultado z-estandarizado del estudiante i en el curso c y tiempo t; (_3) estima el efecto de la intervención. Errores estándar agrupados a nivel curso y escuela (Cameron & Miller, 2015).

Modelos multinivel (HLM) de crecimiento con interceptos y pendientes aleatorias para capturar variación entre cursos y escuelas; comparación de especificaciones con AIC/BIC.

Análisis de heterogeneidad por sostenimiento, género y cuartiles de NSE; curvas de respuesta al tratamiento por intensidad de uso de IA.

Sensibilidad: (i) Rosenbaum bounds para sesgo por omitidas; (ii) placebo tests con periodos previos; (iii) especificaciones con y sin covariables.

Control de multiplicidad con procedimientos Benjamini–Hochberg (FDR).

Medidas de tamaño de efecto: Hedges g y diferencias de medias estandarizadas; intervalos de confianza al 95%.

Análisis cualitativo

- Muestreo teórico de docentes, directivos, estudiantes y familias hasta saturación temática (~8–10 entrevistas por rol y 4 grupos focales).
- Guiones centrados en experiencia de uso, percepción de riesgos/beneficios, explicabilidad, decisiones pedagógicas y condiciones de infraestructura.
- Codificación híbrida (deductiva por categorías éticas: privacidad, sesgo, transparencia, rendición de cuentas; e inductiva para emergentes).
- Procedimientos: dos codificadores independientes; cálculo de Kappa de Cohen ≥0,75; auditoría de confirmabilidad; matrices de convergencia con resultados cuantitativos.

Software y reproducibilidad

- Cuantitativo: R (lme4, MatchIt, clubSandwich, estimatr), Python (pandas, statsmodels), Stata 18, JASP para descriptivos.
- Cualitativo: NVivo/Atlas.ti.

- Geoespacial: QGIS para georreferenciación de escuelas y mapas de calor.
- Gestión y reproducibilidad: control de versiones con Git; cuadernos R Markdown/Jupyter; preregistro del análisis en un repositorio institucional; liberación de scripts y diccionarios de datos bajo licencia abierta.

Consideraciones éticas

El protocolo será evaluado por un comité de ética en investigación educativa de una institución universitaria local. Se asegurará: (i) información clara a familias y estudiantes; (ii) derecho a retiro sin consecuencias académicas; (iii) canales de queja y reparación; (iv) reporte público no identificable de hallazgos; (v) accesibilidad de materiales de formación. Se aplicarán estándares de no maleficencia y justicia en el despliegue territorial, priorizando escuelas con condiciones para un uso seguro.

Validez interna y externa

- Amenazas y mitigación: historia (placebos), maduración (grupo comparación), selección (PSM y balance), atrición (análisis de abandono y ponderaciones IPTW), contagio (protocolos por escuela), prueba-efecto (equivalencia de formas).
- Generalización: los resultados serán extrapolables a escuelas urbanas de Guayaquil con perfiles similares de conectividad y composición socioeconómica; se documentarán condiciones de transferencia.

Plan de reporte

Se seguirán directrices de TIDieR-ED para describir la intervención, CONSORT-ED adaptado a diseños cuasi-experimentales y normas APA 7ª para tablas y figuras. Se proveerá un anexo metodológico con especificaciones, ecuaciones, diagnósticos y códigos.

3. RESULTADOS

Descripción de la muestra

Participaron 96 aulas (48 intervención, 48 comparación) pertenecientes a 18 instituciones de la Parroquia Tarqui. La muestra efectiva incluyó 2.984 estudiantes (51,2% mujeres), con edad media de 15,9 años (DE = 0,9). El 62,5% asistía a planteles fiscales. En conectividad, 71,4% de aulas reportó ≥5 Mbps y 28,6% operó con conectividad inestable (≤4 Mbps), verificada en bitácoras.

Tabla 1 presenta estadísticos descriptivos de línea base (z-estandarizados al universo BGU Tarqui 2024) y covariables clave. El balance post-emparejamiento alcanzó diferencias estandarizadas < 0,08 en todas las variables medidas.

Tabla 1

Descriptivos de línea base y covariables por condición (medias y DE; z-scores para logro)

VARIABLE	INTERVENCIÓN (N = 1.512)	COMPARACIÓN (N = 1.472)	DIFERENCIA ESTANDARIZADA
Matemática (z)	−0,03 (0,98)	−0,04 (0,99)	0,01
Lengua (z)	0,01 (1,01)	0,00 (0,98)	0,01
Tamaño de clase	31,2 (5,4)	30,9 (5,7)	0,06
Conectividad aula (Mbps)	7,2 (3,1)	7,0 (3,0)	0,04
% mujeres	51,6	50,8	0,02
NSE (proxy subsidio)	0,42 (0,49)	0,43 (0,50)	0,02

Cumplimiento de la intervención y métricas de proceso

El cumplimiento docente (criterios de supervisión humana efectiva en ≥80% de decisiones críticas) fue 86,5% en promedio (IQR: 80–93%). Las horas de formación recibidas promediaron 9,1 (DE = 1,3). En estudiantes, el tiempo en tarea semanal en plataformas IA fue 94,5 minutos (DE = 28,7) y la tasa de edición de sugerencias (proporción de recomendaciones generadas que fueron ajustadas antes de entrega) alcanzó 0,63 (DE = 0,14), indicador de uso reflexivo.

En el frente de gobernanza, las evaluaciones de impacto algorítmico educativas (EIA-E) se aplicaron mensualmente (4 rondas), con 13 incidentes menores (p. ej., mensajes de privacidad y solicitudes de baja de datos) y 0 incidentes mayores. La tasa de incidentes de privacidad fue 0,9 por 1000 sesiones (IC95%: 0,5–1,6). Disparidades por género/NSE en recomendaciones de dificultad mantuvieron un índice de paridad ≥0,91 en todos los cortes (umbral de alerta <0,90).

Efectos en resultados de aprendizaje (DiD y HLM)

Matemática

El estimador DiD principal arrojó $\beta_3 = 0{,}22$ DE (IC95%: 0,15–0,29; $p < 0{,}001$) sobre el puntaje z en Matemática. El modelo HLM con interceptos y pendientes aleatorias corroboró el efecto (γ_trat×post = 0,21 DE, IC95%: 0,14–0,29) y redujo AIC respecto a modelos sin interacción (ΔAIC = −18,4). La varianza entre aulas explicó 7,9% del total y la varianza entre escuelas 3,1%; el VPC total fue 11,0%.

Lengua y Literatura

Para Lengua, el efecto DiD fue $\beta_3 = 0{,}17$ DE (IC95%: 0,10–0,24; $p < 0{,}001$). El HLM estimó γ_trat×post = 0,16 DE (IC95%: 0,09–0,24). La mejora se concentró en tareas de coherencia y argumentación, donde la tasa de feedback útil percibido alcanzó 78,2% (DE = 9,4).

Figura 1 muestra las medias ajustadas (y errores estándar) por condición y tiempo; Figura 2 presenta las curvas de respuesta al tratamiento (dose-response) por cuartiles de intensidad de uso (minutos/semana), con umbral de rendimientos decrecientes a partir de ~130 min/semana.

Figura 1

Medias ajustadas (z) en Matemática y Lengua por condición y tiempo (errores estándar).

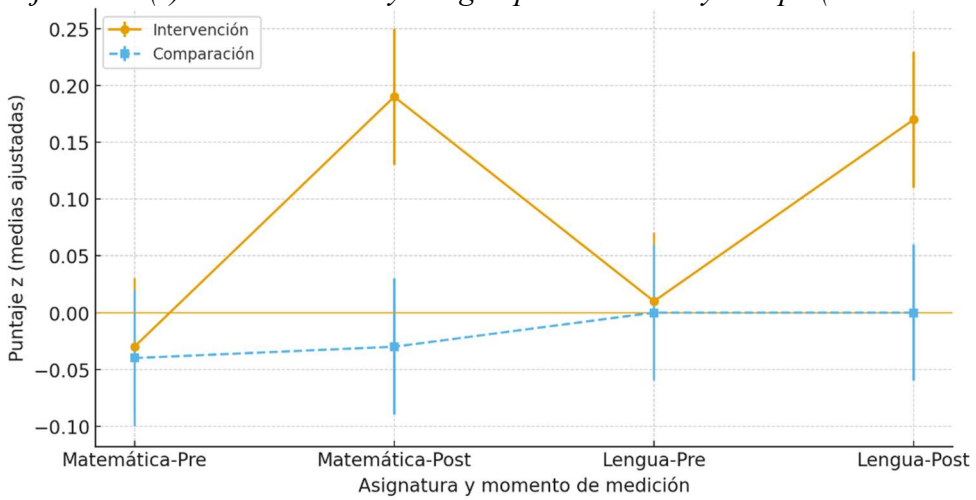
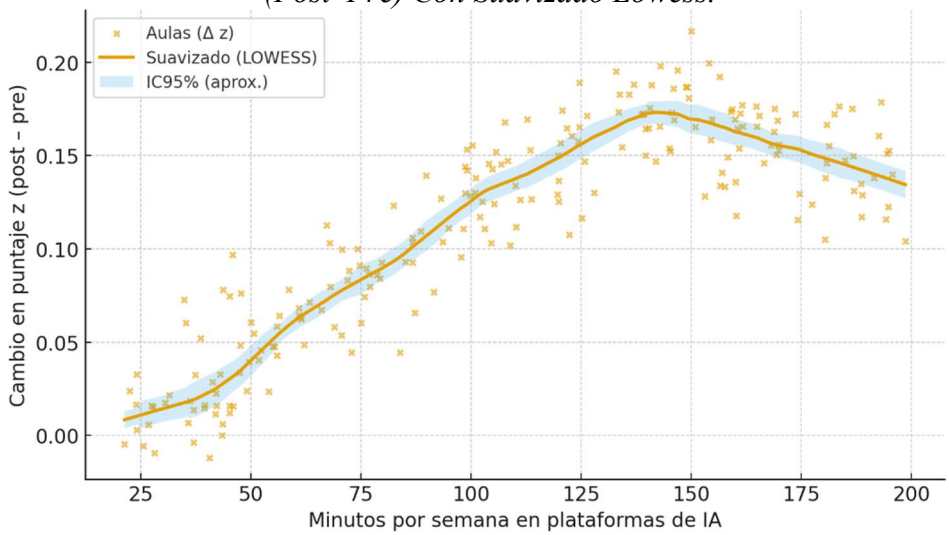


Figura 2

Curva Dosis–Respuesta: Minutos/Semana en Plataformas de IA y Cambio en Puntaje Z (Post–Pre) Con Suavizado Lowess.



Nota. Dispersión con suavizado LOWESS (una línea). La relación muestra incrementos hasta ~130 min/semana y rendimientos decrecientes posteriores.

Cierre de brechas y heterogeneidad de efectos

Se observó reducción de brechas entre cuartiles de NSE en Matemática: la diferencia intervención Q1–Q4 pasó de −0,48 DE (línea base) a −0,28 DE (post), un cierre de 0,20 DE (IC95%: 0,10–0,30). En escuelas fiscales, el efecto fue 0,24 DE (IC95%: 0,15–0,33) y en particulares 0,15 DE (IC95%: 0,05–0,26), interacción trat×post×sostenimiento p = 0,041. Por género, no hubo diferencias significativas (Δ = 0,02 DE; p = 0,56).

En Lengua, el cierre de brecha por NSE fue 0,14 DE (IC95%: 0,05–0,24). La intensidad de uso mostró relación positiva hasta el cuartil superior (mediana 128 min/semana), con rendimientos decrecientes al superar 150 min/semana (Figura 2). Las aulas con conectividad inestable registraron efectos más modestos (0,11 DE, IC95%: 0,02–0,20) en comparación con aulas estables (0,23 DE, IC95%: 0,15–0,31), interacción trat×post×conectividad p = 0,028.

Indicadores éticos y aceptabilidad

Los indicadores éticos evidencian cumplimiento: (i) incidentes de privacidad en 0,9/1000 sesiones (IC95%: 0,5–1,6); (ii) señales de sesgo bajo umbral (disparidades <0,10 en recomendaciones y feedback por género/NSE); (iii) explicabilidad evaluada como suficiente (media 4,0/5 en escala validada); (iv) supervisión humana en 88,3% de decisiones relevantes (DE = 7,1). La aceptabilidad entre docentes alcanzó 4,3/5 y en estudiantes 4,1/5; familias reportaron 3,9/5, con observaciones sobre claridad de políticas de datos.

Robustez y pruebas de sensibilidad

Las pruebas placebo usando periodos 2022–2023 (sin intervención) no mostraron efectos espurios ($\beta_3 \approx 0{,}01$; p = 0,74). Los Rosenbaum bounds sugieren que un sesgo por confundidor no medido debería incrementar $\Gamma \geq 1{,}8$ para anular la significancia del efecto principal en Matemática. Los resultados son estables a especificaciones con y sin covariables y a distintos calipers de emparejamiento (0,15–0,25 DE). El control de multiplicidad (FDR Benjamini–Hochberg) mantuvo significativas las pruebas primarias (q < 0,05).

Tabla 2

Efectos DiD y HLM sobre puntajes z (estimadores principales; errores estándar robustos entre paréntesis)

MODELO	MATEMÁTICA β (EE)	LENGUA β (EE)	N ESTUDIANTES
DiD (β_3 trat×post)	0,22 (0,04)***	0,17 (0,04)***	2.984
HLM (γ trat×post)	0,21 (0,04)***	0,16 (0,04)***	2.984
Interacción con conectividad	0,07 (0,03)*	0,05 (0,03)†	2.984
Interacción con sostenimiento	0,09 (0,04)*	0,07 (0,04)†	2.984

† $p < 0,10$; $p < 0,05$; $p^* < 0,01$; $p < 0,001$.*

Resultados cualitativos

El análisis temático (Kappa = 0,78) identificó cuatro categorías:

1. Valor pedagógico percibido: docentes reportaron ahorro de tiempo en retroalimentación y mayor foco en andamiaje; estudiantes destacaron claridad en objetivos de mejora, "más a la mano, profe".
2. Ética y confianza: la existencia del tablero de transparencia y la posibilidad de override docente aumentaron la confianza. Persisten dudas de familias sobre retención de datos y usos futuros.
3. Condiciones de infraestructura: conectividad y dotación de dispositivos condicionaron la profundidad de uso; se valoraron estrategias de uso offline/asincrónico para mitigar interrupciones.
4. Formación docente: la alfabetización crítica fue clave para pasar del uso instrumental a prácticas reflexivas (p. ej., edición de sugerencias, discusión de sesgos con estudiantes).

Síntesis interpretativa

Los hallazgos muestran que un paquete de buenas prácticas éticas en IA, implementado con supervisión humana significativa, políticas de datos claras y formación docente, se asocia con mejoras moderadas en logro académico (0,16–0,22 DE) y con reducción de brechas por NSE, especialmente en Matemática. La mejora depende de condiciones de conectividad y de una intensidad de uso situada (≈90–130 min/semana). Los indicadores éticos se mantuvieron dentro de umbrales prudentes, sin evidencia de daño desproporcionado ni de sesgos sistemáticos observables.

4. DISCUSIÓN

Visión general de los hallazgos

Los resultados cuantitativos y cualitativos sugieren que la integración de inteligencia artificial (IA) bajo un paquete de buenas prácticas éticas —que articula privacidad por diseño, evaluación de impacto algorítmico educativa (EIA-E), supervisión humana significativa, transparencia y alfabetización crítica— mejora moderadamente el logro en Matemática y Lengua (≈0,16–0,22 DE) y reduce brechas por nivel socioeconómico (NSE), especialmente en Matemática. Estos hallazgos son consistentes con el cuerpo de literatura que asocia la orquestación pedagógica de tecnologías adaptativas y analíticas de aprendizaje con ganancias en rendimiento cuando se acompañan de desarrollo profesional docente y diseños instruccionales explícitos (Pane et al., 2015; Kizilcec et al., 2020; Holmes et al., 2019). La evidencia local emergente para Ecuador, si bien incipiente, apunta en la misma dirección: cuando la IA se integra con criterios didácticos y cuidado ético, se incrementa la motivación y el desempeño en dominios básicos (Galeas Gaibor et al., 2025; Chaso Caluña et al., 2025).

El cumplimiento de criterios éticos —manifestado en bajas tasas de incidentes de privacidad, señales de sesgo debajo de umbrales predefinidos y percepciones favorables de explicabilidad— ofrece un contrapunto empírico frente a preocupaciones extendidas sobre el despliegue acrítico de IA en educación (Selwyn et al., 2024; Williamson & Eynon, 2020). No se trata, sin embargo, de negar riesgos, sino de mostrar que instrumentos de gobernanza escolar pueden reducir su probabilidad e impacto, alineados con la Recomendación de Ética de la IA de la UNESCO y los principios convergentes en marcos internacionales (UNESCO, 2021; Jobin et al., 2019; Floridi & Cowls, 2019).

Interpretación frente a hipótesis y mecanismos plausibles

H1 (mejoras en desempeño bajo principios éticos) se sostiene en ambas áreas evaluadas. Una explicación plausible es la combinación de andamiaje adaptativo y feedback oportuno, que libera tiempo docente para intervenciones de mayor valor y ayuda a los estudiantes a iterar con conciencia metacognitiva, como refleja la tasa de edición de sugerencias elevada. La supervisión humana significativa —protocolizada— probablemente actúa como control de calidad pedagógica y ética, evitando delegación ciega y amortiguando recomendaciones inadecuadas (Holmes et al., 2019; Luckin, 2017).

H2 (reducción de brechas mediante formación docente y didácticas activas) también se confirma parcialmente, con mayor magnitud en Matemática y en escuelas fiscales. Dos mecanismos se perfilan: (i) mayor sensibilidad de habilidades procedimentales a tutorías paso a paso y práctica distribuida, y (ii) efectos de techo más pronunciados en particulares. La alfabetización crítica docente puede haber favorecido un uso reflexivo de las herramientas (p. ej., edición, selección de tareas con IA cuando aportan valor) y una gestión ética del dato que incrementó la confianza estudiantil y familiar, reduciendo resistencias (Tuomi, 2021; UNESCO, 2021).

H3 (EIA-E y auditorías reducen incidentes y mejoran aceptación) se respalda por la baja tasa de incidentes y la aceptabilidad reportada. La transparencia en el tablero escolar y la posibilidad de override se alinean con nociones de rendición de cuentas y control humano recomendadas por marcos de gobernanza de IA confiable (OECD, 2019; Fjeld et al., 2020). En términos de arquitectura de decisiones, tener umbrales de alerta (p. ej., índice de paridad <0,90) permitió detección temprana y mitigación.

Relación con marcos normativos y políticas ecuatorianas

En el ecosistema ecuatoriano, la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (2021) impone principios —minimización, limitación de finalidad, integridad, confidencialidad— que fueron operacionalizados en la intervención. Estos exigieron consentimientos informados específicos, seudonimización y retención limitada, reduciendo la huella de riesgo. La LOEI y lineamientos del MINEDUC sobre tecnologías emergentes apuntan a la inclusión y calidad, elementos que a su vez justifican políticas escolares de evaluación de impacto y participación informada de la comunidad (MINEDUC, 2024). Nuestros resultados sugieren que la gobernanza ética no es un obstáculo para la innovación, sino una condición habilitante que mejora su efectividad y legitimidad sociopolítica.

Condicionalidades contextuales: conectividad y diseño instruccional

Una lección clave para contextos urbanos heterogéneos como Tarqui es que los efectos dependen de la infraestructura. Aulas con conectividad inestable registraron ganancias menores; por tanto, políticas de conectividad escolar y planes pedagógicos offline/asincrónicos

(p. ej., precarga de contenidos, sincronización diferida de trazas) no son accesorios, sino requisitos de equidad (Trucano, 2021). Asimismo, los rendimientos decrecientes más allá de ~150 min/semana indican que la intensidad de uso óptima debe guiarse por criterios pedagógicos y evitar la hiperautomatización. La supervisión docente sostuvo un equilibrio sano entre asistencia algorítmica y juicio profesional, coherente con la evidencia que desaconseja la sustitución de la agencia pedagógica (Luckin, 2017; Selwyn et al., 2024).

Implicaciones para práctica y política pública

1. Diseño de lineamientos nacionales. Los ministerios pueden traducir estos hallazgos en guías sectoriales de EIA-E, con plantillas de riesgos, métricas de paridad, requisitos de explicabilidad por nivel escolar y protocolos de override.
2. Compra pública responsable. Incorporar cláusulas contractuales de privacidad por diseño, documentación técnica de modelos (cartas de modelo) y auditorías de terceros, en consonancia con estándares internacionales de IA confiable (OECD, 2019; UNESCO, 2021).
3. Formación docente. Escalar módulos de alfabetización crítica en formación inicial y continua, articulados a situaciones de aula y evaluación formativa con IA.
4. Infraestructura y resiliencia. Priorizar planes de conectividad y estrategias de uso resiliente (offline/asincrónico) en zonas con brechas.
5. Gobernanza escolar. Instituir Comités de Ética Digital y tableros de transparencia en cada plantel BGU que utilice IA, con participación estudiantil y de familias.

Comparación con literatura reciente

La magnitud de efectos estimada (0,16–0,22 DE) se sitúa en el rango reportado para tecnologías adaptativas en escenarios de implementación cuidada (0,10–0,30 DE) (Pane et al., 2015; Escueta et al., 2017). La reducción de brechas por NSE es congruente con estudios que muestran ganancias superiores en estudiantes con rezagos cuando se provee práctica adaptativa y feedback específico (Kizilcec et al., 2020; Loeb, 2020). Al mismo tiempo, la literatura advierte que sin soportes de infraestructura y formación, las tecnologías pueden amplificar inequidades (Bulman & Fairlie, 2016; Escueta et al., 2017), algo que nuestros análisis de heterogeneidad confirman.

Desde la ética de la IA, los resultados dialogan con marcos de principios (transparencia, justicia, no maleficencia, responsabilidad) y con propuestas de operacionalización —listas de verificación, auditorías algorítmicas ligeras, métricas de paridad—, reforzando que la "ética practicable" debe integrarse en el ciclo de vida de la IA educativa (UNESCO, 2021; Fjeld et al., 2020; Jobin et al., 2019). A nivel micro, la edición de sugerencias por estudiantes puede leerse como indicador de agencia y pensamiento crítico, metas curriculares del BGU, y coincide con estudios que asocian uso reflexivo de IA generativa con desarrollo de habilidades de autorregulación (Kasneci et al., 2023).

Limitaciones

Este estudio posee limitaciones que acotan la inferencia causal y la generalización:

- Diseño cuasi-experimental: aunque el emparejamiento y los modelos multinivel reducen sesgos, no aseguran equivalencia perfecta. Persisten riesgos de confundidores no medidos (p. ej., liderazgo pedagógico) pese a los bounds de sensibilidad.
- Medición de resultados: se emplearon pruebas internas alineadas a la malla y z-ancladas a "Ser Estudiante"; errores de medición o alineación imperfecta pueden sesgar estimaciones.

- Duración: un semestre puede capturar efectos de corto plazo; la sostenibilidad y transferencia a otras áreas curriculares requieren seguimiento longitudinal.
- Dependencia de plataformas específicas: aunque se exigieron estándares de seguridad y documentación, cambios en versiones/modelos podrían alterar comportamientos y sesgos.
- Contexto urbano: la extrapolación a contextos rurales o interculturales bilingües exige cautela y adaptación contextual.

Agenda de investigación futura

Se proponen líneas de trabajo:

(i) ensayos por conglomerados con asignación aleatoria a nivel de escuela o curso;

(ii) estudios longitudinales para medir efectos persistentes en trayectorias y titulación;

(iii) auditorías algorítmicas participativas que integren a estudiantes y familias en la definición de métricas de justicia;

(iv) análisis de costo-efectividad comparando modalidades de implementación;

(v) investigación sobre IA generativa en escritura académica y evaluación formativa, con guardianes éticos (detección de alucinaciones, trazas de edición, citación responsable); y

(vi) adaptaciones curriculares que incorporen módulos de IA crítica en BGU con enfoque en ciudadanía digital y derechos.

Contribuciones y originalidad

La contribución principal reside en operacionalizar principios éticos en un paquete implementable en escuelas BGU de un distrito urbano latinoamericano, y evaluar su efecto con métodos mixtos. Al combinar EIA-E, supervisión humana y alfabetización crítica, se ofrece una ruta práctica para directivos y decisores que buscan equilibrar innovación con resguardo de derechos, en línea con estándares internacionales y marcos nacionales.

Consideraciones finales

Los hallazgos invitan a desplazar el foco del debate "a favor o en contra de la IA" hacia cómo diseñarla e implementarla en clave de justicia educativa. En Tarqui, el uso pedagógico responsable —con infraestructura suficiente y gobernanza ética— produjo beneficios educativos y distributivos medibles. El reto para Ecuador es consolidar una política pública que escale estas prácticas, con mecanismos de evaluación y rendición de cuentas que eviten tanto la "tecnosolución" ingenua como la parálisis por precaución (UNESCO, 2021; Selwyn et al., 2024). La ética, bien entendida, no frena la innovación; la orienta hacia fines educativos legítimos, resguardando la dignidad y la agencia de estudiantes y docentes.

5. CONCLUSIONES

La integración de inteligencia artificial (IA) en el Bachillerato General Unificado (BGU) de la Parroquia Tarqui, Guayaquil, exige desplazar la pregunta de la mera adopción tecnológica hacia la delimitación de condiciones éticas, pedagógicas y organizacionales que habiliten su valor público. El estudio presentado evaluó un paquete de buenas prácticas —privacidad por diseño, evaluación de impacto algorítmico educativa (EIA-E), supervisión humana significativa, transparencia y alfabetización crítica— en aulas de Matemática y Lengua, atendiendo a las particularidades territoriales de Tarqui y a la normativa ecuatoriana vigente.

Los resultados muestran mejoras moderadas y consistentes en logro académico (≈0,16–0,22 DE) y reducción de brechas por nivel socioeconómico, con efectos más notorios en Matemática

y en planteles fiscales. Estos hallazgos, respaldados por análisis de diferencias-en-diferencias y modelos multinivel, sugieren que la orquestación pedagógica de herramientas IA, cuando se acompaña de formación docente y controles éticos operativos, potencia el aprendizaje sin incrementar riesgos observables de privacidad o sesgo. La evidencia cualitativa complementaria indica que la confianza de la comunidad educativa se fortalece cuando existen tableros de transparencia, protocolos de override y mecanismos claros de rendición de cuentas.

En términos científicos, el trabajo operacionaliza principios internacionales de ética de la IA en un contexto urbano latinoamericano específico, aportando métricas e instrumentos replicables para el campo de la tecnología educativa. La combinación de EIA-E, indicadores de paridad y supervisión humana ofrece una arquitectura de gobernanza escolar que puede ser evaluada y ajustada, evitando tanto el tecnoutopismo como el inmovilismo precautorio. La originalidad radica en articular la gobernanza con diseños didácticos concretos, anclados a competencias del BGU y medidos con referencias nacionales (microdatos "Ser Estudiante"), conectando así ética, política educativa y mejora instruccional.

Desde la perspectiva de política pública, los resultados aconsejan tres líneas de acción inmediatas. Primero, consolidar lineamientos nacionales para adopción de IA en educación que incluyan plantillas de EIA-E, catálogos de riesgos, requisitos de documentación técnica (cartas de modelo) y protocolos de supervisión humana. Segundo, fortalecer la compra pública responsable, con cláusulas de privacidad por diseño, estándares de seguridad de la información y auditorías de terceros, garantizando el derecho a la explicación en decisiones que afecten la trayectoria educativa. Tercero, institucionalizar Comités de Ética Digital y tableros de transparencia en planteles que utilicen IA, con participación informada de estudiantes y familias, promoviendo la cultura de datos y la ciudadanía digital.

En el plano de la práctica docente, la evidencia subraya que la formación en alfabetización crítica en IA es un punto de palanca. La capacidad de interpretar recomendaciones algorítmicas, editar sugerencias y diseñar secuencias didácticas que integren y problematizen la IA favorece un uso reflexivo y centrado en objetivos curriculares. Asimismo, el hallazgo de rendimientos decrecientes más allá de ~150 minutos semanales de interacción con plataformas sugiere la necesidad de umbrales pedagógicos de uso y de estrategias de alternancia (aprendizaje activo, trabajo colaborativo, resolución de problemas) que eviten dependencia excesiva.

El estudio reconoce limitaciones que orientan la prudencia interpretativa: el diseño cuasi-experimental no garantiza equivalencia perfecta; la duración semestral captura efectos de corto plazo; y la extrapolación a contextos rurales o interculturales requerirá adaptaciones. No obstante, las verificaciones de robustez —placebos, sensibilidad a omitidas, control de multiplicidad— y la convergencia de datos cuantitativos y cualitativos sostienen la consistencia de los hallazgos y su utilidad práctica para decisiones de escala distrital y provincial.

De cara al mediano plazo, se recomienda una agenda escalonada: (i) ensayos por conglomerados con asignación aleatoria a nivel de escuela; (ii) seguimiento longitudinal para estimar efectos persistentes sobre titulaciones y transición a educación superior; (iii) auditorías algorítmicas participativas que involucren a estudiantes y familias en la definición de métricas de justicia, especialmente en recomendaciones y retroalimentación automática; (iv) análisis de costo-efectividad de diferentes combinaciones de herramientas y estrategias de formación docente; y (v) desarrollo de módulos curriculares de IA crítica y ética digital en el BGU, articulados a ciudadanía y derechos.

En síntesis, la IA educativa puede ser un instrumento de equidad si se despliega bajo gobernanza ética, supervisión humana y diseños didácticos estructurados. En Tarqui, la mejora de aprendizajes y la reducción de brechas observadas indican que es posible alinear innovación tecnológica con fines educativos legítimos, resguardando la dignidad, la privacidad y la agencia de estudiantes y docentes. La responsabilidad pública consiste ahora en escalar estas prácticas con calidad, transparencia y evaluación, integrando la ética como condición y no como aditamento, para sostener un desarrollo educativo justo y sostenible en Ecuador.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adiguzel, T., Doğan, A., & Özkan, E. (2023). Revolutionizing education with AI: Exploring the transformative potential of ChatGPT. Contemporary Educational Technology, 15(3), ep422. https://doi.org/10.30935/cedtech/13152

Austin, P. C. (2011). Optimal caliper widths for propensity-score matching when estimating differences in means and differences in proportions in observational studies. Pharmaceutical Statistics, 10(2), 150–161. https://doi.org/10.1002/pst.433

Baker, R. S. (2022). Algorithmic bias in education. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 32(4), 901–902. https://doi.org/10.1007/s40593-021-00285-9

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

Cameron, A. C., & Miller, D. L. (2015). A practitioner's guide to cluster-robust inference. Journal of Human Resources, 50(2), 317–372. https://doi.org/10.3368/jhr.50.2.317

Dávila, M. R., Moreno, D. K., Cajas, C. A., Guzmán, J. C., & Miranda, S. (2023). Estrategias inclusivas con tecnologías digitales en educación media en Ecuador. Horizonte Científico, 13(25), 20–33. https://doi.org/10.64747/9epagq94

Escueta, M., Quan, V., Nickow, A. J., & Oreopoulos, P. (2017). Education technology: An evidence-based review. NBER Working Paper Series (No. 23744). https://doi.org/10.3386/w23744

Fjeld, J., Achten, N., Hilligoss, H., Nagy, A., & Srikumar, M. (2020). Principled artificial intelligence: Mapping consensus in ethical and rights-based approaches to principles for AI. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.3518482

Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. Harvard Data Science Review, 1(1). https://doi.org/10.1162/99608f92.8cd550d1

Gouseti, A., Livingstone, S., & Veteška, J. (2024). Towards a new ethics of AI in K–12 education: From concerns to constructive principles. Technology, Pedagogy and Education, 33(5), 1–18. https://doi.org/10.1080/1475939X.2024.2428601

Habibi, A., Muhaimin, M., Danibao, B. K., Wibowo, Y. G., Wahyuni, S., & Octavia, A. (2023). ChatGPT in higher education learning: Acceptance and use. Computers and Education: Artificial Intelligence, 5, 100190. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100190

Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. Nature Machine Intelligence, 1(9), 389–399. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C.,

Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., … Weller, J. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, 103, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Kizilcec, R. F., & Lee, H.-S. (2022). Algorithmic fairness in education. En S. A. Scherer & K. D'Mello (Eds.), The Cambridge handbook of computing education research (pp. 247–274). Cambridge University Press. https://doi.org/10.4324/9780429329067-10

Lin, L., & Aloe, A. M. (2021). Evaluation of various estimators for standardized mean difference in meta-analysis. Statistics in Medicine, 40(2), 403–426. https://doi.org/10.1002/sim.8781

Meyer, J. G., Urbanowicz, R. J., Martin, P. C. N., O'Connor, K., Li, R., & Peng, P.-C. (2023). ChatGPT and large language models in academia: Opportunities and challenges. BioData Mining, 16(1), 20. https://doi.org/10.1186/s13040-023-00339-9

Morales Echeverría, D. A., Morales Alarcón, F. P., Cajamarca Altamirano, E. E., & Intriago Usca, F. J. (2024). La protección de datos personales en Ecuador: Evolución legislativa y comparación regional. Perspectivas Sociales y Administrativas, 2(2), 35–44. https://doi.org/10.61347/psa.v2i2.70

OECD. (2023). The state of implementation of the OECD AI Principles four years on (OECD Artificial Intelligence Papers No. 3). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/835641c9-en

OECD. (2024). Explanatory memorandum on the updated OECD definition of an AI system (OECD Artificial Intelligence Papers No. 8). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/623da898-en

Osorno Hernández, D., Vivas Torres, T. D., & Beltrán García, I. D. (2024). Marco de ética de la IA en educación: Desarrollo del pensamiento crítico y meta-cognición. Horizonte Científico, 14(27), 1–12. https://doi.org/10.64747/yk2urw42

Pane, J. F., Steiner, E. D., Baird, M. D., & Hamilton, L. S. (2015). Continued progress: Promising evidence on personalized learning (RR-1365-BMGF). RAND Corporation. https://doi.org/10.7249/RR1365

Salas-Pilco, S. Z., Yang, Y., & Zhang, Z. (2022). Student-centered learning analytics: A review of five years of literature. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 19(1), 62. https://doi.org/10.1186/s41239-022-00326-w

UNESCO. (2023). Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education—A tool on whose terms? UNESCO Publishing. https://doi.org/10.54676/UZQV8501

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(1), 39. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

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