

Artículo Original

Efectos de un modelo de aprendizaje adaptativo en tiempo real basado en inteligencia artificial sobre la personalización curricular en estudiantes con diversidad cognitiva y sensorial

Effects of an AI-Based Real-Time Adaptive Learning Model on Curriculum Personalization in Students with Cognitive and Sensory Diversity

Teresa del Rocío Urgiles Uyaguari^{1*}  , **Jorge Freddy Jara Espinoza²**  , **Lina Yasenia López Caicedo³**  ,
Ricardo Damián Eugenio Monserrate⁴  , **Jeniffer Steffania Hidalgo Álava⁵**  ,

¹Ministerio de Educación, Deporte y Cultura: Escuela de Educación Básica Atahualpa, Guayaquil, Ecuador

²Ministerio de Educación, Deporte y Cultura: Unidad Educativa Catalina Cadena Miranda, Triunfo, Ecuador

³Ministerio de Educación, Deporte y Cultura: Unidad Educativa Catalina Cadena Miranda, Triunfo, Ecuador

⁴DECE Unidad Educativa Balao, Balao, Ecuador

⁵Unidad Educativa Particular Tecnomundo, El Triunfo, Ecuador

***Autor de correspondencia:** Teresa del Rocío Urgiles Uyaguari 

Recibido: 16-08-2026

Revisado: 23-08-2026

Aceptado: 30-08-2026

Publicado: 06-09-2026

Cómo citar este artículo: Urgiles Uyaguari, T. del R. ., Jara Espinoza , J. F. ., López Caicedo , L. Y. ., Eugenio Monserrate , R. D. ., & Hidalgo Álava , J. S. . (2026). Efectos de un modelo de aprendizaje adaptativo en tiempo real basado en inteligencia artificial sobre la personalización curricular en estudiantes con diversidad cognitiva y sensorial. *Star of Sciences Multidisciplinary Journal*, 3(2), 1-12. <https://doi.org/10.63969/zd6rpc61>

RESUMEN

Introducción: La personalización curricular mediante inteligencia artificial (IA) puede reducir barreras de acceso y ajustar la enseñanza a la variabilidad del alumnado, pero la evidencia cuasiexperimental en educación escolar inclusiva sigue siendo limitada. **Objetivo:** Evaluar el efecto de un modelo adaptativo en tiempo real sobre la personalización curricular de estudiantes con diversidad cognitiva y sensorial de décimo de Educación General Básica y primero de Bachillerato. **Método:** Se realizó un estudio cuasiexperimental pretest–postest con 200 estudiantes, distribuidos equitativamente entre intervención y comparación. El grupo de intervención completó 30 sesiones de Matemática en las que el sistema ajustó dificultad, ritmo, formato y retroalimentación; el grupo de comparación utilizó recursos digitales no adaptativos. Se analizaron cambios, tamaños del efecto y modelos lineales ajustados por pretest, nivel, diversidad, edad, asistencia, competencia digital y apoyo. **Resultados:** La ganancia en personalización fue mayor en intervención ($M = 0,692$; $DE = 0,313$) que en comparación ($M = 0,202$; $DE = 0,239$), diferencia = 0,489; IC 95 % [0,411; 0,567]; $d = 1,76$; $p < .001$. El efecto ajustado fue $b = 0,481$; IC 95 % [0,401; 0,561]. También se observaron ventajas en rendimiento ($d = 2,03$), compromiso ($d = 1,29$), accesibilidad ($d = 1,86$) y participación ($d = 1,94$), todas con $p < .001$. No se detectó moderación significativa por nivel educativo ni tipo de diversidad. **Conclusión:** El modelo se asoció con mejoras amplias y consistentes; sin embargo, la asignación no aleatoria y la ausencia de identificadores de conglomerado limitan la inferencia causal.

Palabras clave: aprendizaje adaptativo; inteligencia artificial; personalización curricular; educación inclusiva; diversidad cognitiva; diversidad sensorial.

ABSTRACT

Background: Artificial intelligence (AI)–based curriculum personalization may reduce access barriers and respond to learner variability, yet quasi-experimental evidence in inclusive school education remains scarce. Objective: To evaluate the effect of a real-time adaptive model on curriculum personalization among students with cognitive and sensory diversity in tenth grade of basic education and first year of upper-secondary education. Method: A quasi-experimental pretest–posttest study included 200 students equally allocated to intervention and comparison conditions. The intervention group completed 30 mathematics sessions in which the system adjusted difficulty, pace, format, and feedback; the comparison group used non-adaptive digital resources. Change scores, effect sizes, and linear models adjusted for pretest, educational level, diversity profile, age, attendance, digital competence, and support level were estimated. Results: Personalization gains were greater in the intervention group ($M = 0.692$, $SD = 0.313$) than in the comparison group ($M = 0.202$, $SD = 0.239$), difference = 0.489, 95% CI [0.411, 0.567], $d = 1.76$, $p < .001$. The adjusted effect was $b = 0.481$, 95% CI [0.401, 0.561]. Advantages were also found for achievement ($d = 2.03$), engagement ($d = 1.29$), accessibility ($d = 1.86$), and participation ($d = 1.94$), all $p < .001$. No significant moderation by educational level or diversity profile emerged. Conclusion: The adaptive model was associated with broad and consistent improvements; nevertheless, non-random allocation and unavailable cluster identifiers limit causal inference.

Keywords: adaptive learning; artificial intelligence; curriculum personalization; inclusive education; cognitive diversity; sensory diversity.

1. INTRODUCCIÓN

La personalización curricular es una exigencia pedagógica en aulas donde los estudiantes difieren en conocimientos previos, ritmo de procesamiento, comunicación, atención y acceso sensorial. CAST (2024) plantea que esta variabilidad es previsible y debe atenderse desde el diseño mediante múltiples formas de implicación, representación y acción. Desde esta perspectiva, personalizar no significa reducir expectativas, sino diversificar rutas y apoyos para alcanzar objetivos curriculares comunes.

Los sistemas adaptativos basados en IA amplían la capacidad de responder a esa variabilidad al transformar datos de interacción en decisiones sobre el itinerario de aprendizaje. En el mapa sistemático de Kabudi et al. (2021), estos sistemas combinan modelos del estudiante, del dominio y de la adaptación para seleccionar recursos o secuencias. Su valor pedagógico depende, por tanto, de que cada ajuste sea oportuno, interpretable y alineado con el currículo.

La adaptación en tiempo real utiliza evidencias generadas durante la actividad —precisión, latencia, intentos, ayudas o progreso— para modificar dificultad, ritmo, formato y retroalimentación dentro de la misma sesión. Cerón Salazar y Burbano González (2026) identificaron que los sistemas inteligentes de educación primaria y secundaria muestran resultados predominantemente favorables, aunque persisten vacíos longitudinales y regionales. Esta insuficiencia es relevante en contextos latinoamericanos y en poblaciones escolares heterogéneas.

La literatura general sobre IA educativa describe oportunidades en aprendizaje, docencia y evaluación, junto con riesgos de confiabilidad, formación e infraestructura (Chiu et al., 2023). En consecuencia, evaluar una intervención exige ir más allá del uso de la plataforma: debe precisarse qué se adaptó, con qué señales, para quién y con qué efecto observable. Esa trazabilidad diferencia la personalización verificable de una simple oferta abundante de contenidos digitales.

La evidencia internacional sobre tecnología educativa continúa siendo desigual y, con frecuencia, insuficientemente independiente. El Informe de Seguimiento de la Educación en el Mundo advierte que la disponibilidad de dispositivos no garantiza aprendizaje cuando la tecnología carece de integración pedagógica (UNESCO, 2023a). Los diseños con comparación y medición pretest–posttest son, por ello, necesarios para estimar valor añadido en escenarios escolares reales.

En educación especial, Yang et al. (2025) documentaron una década de crecimiento de aplicaciones de IA orientadas a personalización, intervención y participación en K–12. Sin embargo, la producción se concentra en determinados

países y perfiles, con muestras frecuentemente pequeñas. La evaluación conjunta de diversidad cognitiva y sensorial permite examinar si los beneficios se sostienen ante necesidades de apoyo diferentes.

Las aplicaciones para diversidad cognitiva incluyen tutores, andamiajes graduados y sistemas que ajustan la presentación según patrones de desempeño. Dutt et al. (2022) mostraron la viabilidad de una arquitectura tutorial basada en redes neuronales difusas para estudiantes con dificultades de aprendizaje. Aunque la innovación técnica es relevante, su impacto debe demostrarse con resultados curriculares y no solo con métricas de interacción.

En el caso del autismo y otros perfiles neurodivergentes, la personalización puede involucrar segmentación de instrucciones, reducción de carga, repetición y retroalimentación predecible. La revisión de Lan et al. (2025) destaca aplicaciones multimodales que apoyan el aprendizaje y el desarrollo de habilidades, pero también reclama supervisión y evaluación contextual. Esto refuerza la necesidad de conservar el juicio docente sobre las recomendaciones del sistema.

Compromiso y rendimiento constituyen resultados vinculados, pero no equivalentes. Standen et al. (2020) observaron que un sistema adaptativo con reconocimiento afectivo podía mejorar indicadores de implicación en estudiantes con discapacidad intelectual sin que todas las medidas de logro cambiaran en la misma magnitud. Por ello, el efecto educativo debe evaluarse mediante indicadores diferenciados de aprendizaje, participación y experiencia.

La diversidad sensorial exige ajustes que exceden la dificultad de la tarea. Chemnad y Othman (2024) señalan que la accesibilidad digital en la era de la IA comprende percepción, interacción, compatibilidad y prevención de sesgos. Texto alternativo, alto contraste, subtítulos, transcripciones, navegación accesible e instrucciones segmentadas son condiciones para que la adaptación pueda convertirse en participación efectiva.

Las tecnologías de asistencia funcionan dentro de un ecosistema de productos, servicios, personal y políticas, no como soluciones aisladas (World Health Organization & UNICEF, 2022). De este modo, una plataforma adaptativa debe articularse con apoyos institucionales, dispositivos compatibles y prácticas docentes. Si alguno de esos componentes falla, el algoritmo puede recomendar una ruta que el estudiante no logra utilizar.

La revisión de Asiri et al. (2026) sobre IA y discapacidad visual describe mejoras potenciales en acceso a información y autonomía, junto con barreras de costo, complejidad y personalización insuficiente. En el ámbito curricular, estos límites obligan a registrar el formato accesible realmente presentado y no asumir que una función disponible fue utilizada con éxito. Las trazas pueden aportar evidencia directa sobre esa correspondencia.

La educación digital inclusiva demanda que instituciones, profesorado, familias y estudiantes participen en la transformación tecnológica. La European Agency for Special Needs and Inclusive Education (2022) subraya la interacción entre diseño universal, tecnología asistiva, competencia docente y gobernanza institucional. En consecuencia, el modelo adaptativo debe concebirse como apoyo a la decisión pedagógica y no como sustituto autónomo del profesorado.

La protección reforzada de los datos es indispensable cuando la IA analiza interacciones de menores y variables asociadas con discapacidad. UNICEF (2025) sitúa la privacidad, la seguridad, la no discriminación, la transparencia y el bienestar entre los requisitos de una IA centrada en la niñez. Estas obligaciones incluyen minimización de datos, explicación comprensible y posibilidad de intervención humana.

En Ecuador, el currículo adaptado para estudiantes con discapacidad reconoce que el aprendizaje no siempre sigue una trayectoria lineal y que los contenidos pueden requerir revisitación. El Ministerio de Educación, Deporte y Cultura (2025) ha presentado esta orientación como parte del fortalecimiento de la educación especializada e inclusiva. El área de Matemática ofrece un contexto pertinente para evaluar ajustes de dificultad, secuencia, modalidad y retroalimentación.

A partir de este vacío, el estudio evaluó un modelo de aprendizaje adaptativo en tiempo real basado en IA en estudiantes de décimo de Educación General Básica y primero de Bachillerato con diversidad cognitiva y sensorial. Se planteó que la intervención produciría una ganancia superior en personalización curricular (H1), rendimiento

matemático (H2), compromiso y accesibilidad (H3), y que el efecto podría variar según nivel educativo y tipo de diversidad (H4, exploratoria).

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño y contexto

Se realizó una investigación aplicada, cuantitativa y longitudinal, con diseño cuasiexperimental pretest–posttest y grupo de comparación no equivalente. Las condiciones correspondieron a una enseñanza digital con adaptación algorítmica en tiempo real y a una enseñanza digital no adaptativa. El estudio se desarrolló en el área de Matemática con estudiantes de décimo de Educación General Básica y primero de Bachillerato.

2.2 Participantes

La muestra analítica estuvo integrada por 200 estudiantes: 100 en la condición de intervención y 100 en la condición de comparación. Cada condición incluyó 50 estudiantes de décimo de EGB y 50 de primero de Bachillerato; dentro de cada nivel participaron 25 estudiantes con diversidad cognitiva y 25 con diversidad sensorial. La edad media fue de 14,75 años ($DE = 0,61$) en intervención y 14,71 ($DE = 0,64$) en comparación. No hubo datos faltantes en la base analítica. Los criterios de inclusión fueron matrícula vigente en uno de los niveles seleccionados, necesidad educativa asociada con diversidad cognitiva o sensorial documentada institucionalmente, participación en Matemática y disponibilidad de los apoyos de acceso requeridos. La clasificación analítica no implicó la emisión de diagnósticos por el equipo investigador.

2.3 Intervención y condición de comparación

El grupo de intervención completó 30 sesiones de 45 minutos, distribuidas en diez semanas. En cada sesión el sistema procesó tiempo de respuesta, intentos, solicitudes de ayuda, dificultad y progreso para seleccionar el siguiente apoyo. Las adaptaciones comprendieron seis formatos accesibles —texto segmentado, texto alternativo, apoyo visual, subtítulos o transcripción, alto contraste e instrucción simplificada—, tres opciones de ritmo y cuatro tipos de retroalimentación. El docente conservó la capacidad de revisar la propuesta del sistema.

Se empleó una plataforma adaptativa propia, versión 1.0, desarrollada por el equipo investigador para este estudio. Su motor de decisión procesó en tiempo real la precisión de las respuestas, la latencia, el número de intentos, las solicitudes de ayuda, la dificultad alcanzada y el progreso acumulado. Las reglas incrementaron gradualmente la dificultad y aceleraron el ritmo ante respuestas correctas sostenidas con menor latencia; ante errores reiterados, tiempos elevados o solicitudes de ayuda, redujeron la dificultad, desaceleraron el ritmo y activaron pistas graduadas, reexplicaciones, ejemplos resueltos o refuerzo inmediato. Según las necesidades de acceso registradas, el sistema presentó texto segmentado, texto alternativo, apoyo visual, subtítulos o transcripción, alto contraste e instrucciones simplificadas. La plataforma incluyó perfil pedagógico operativo, registro de trazas por estudiante y sesión, recomendación automática del siguiente apoyo y un panel docente para revisar la propuesta antes de su aplicación. El grupo de comparación trabajó los mismos objetivos curriculares y una duración equivalente con recursos digitales sin adaptación algorítmica automática. Ambos grupos recibieron la enseñanza regular de Matemática y realizaron las mediciones en momentos equivalentes.

2.4 Variables e instrumentos

El resultado primario fue personalización curricular, medida mediante 25 ítems en escala de 1 a 5. Los ítems se organizaron en cinco dimensiones: adecuación de la dificultad, adaptación del ritmo, personalización de la secuencia, accesibilidad o modalidad, y retroalimentación o apoyos. Se calculó una media global pretest y posttest. La consistencia interna fue alta en ambos momentos.

El rendimiento se midió con formas paralelas de una prueba de Matemática, expresada de 0 a 100 puntos. Los resultados secundarios fueron compromiso académico (12 ítems, escala de 1 a 5), accesibilidad observada (1 a 5) y participación (1 a 5). Como covariables se registraron edad, asistencia porcentual, competencia digital (1 a 5), nivel de

apoyo (1 a 5), nivel educativo y tipo de diversidad. El grupo de intervención generó, además, un registro por estudiante y sesión.

2.5 Procedimiento

Tras la aplicación del pretest, los participantes desarrollaron las actividades correspondientes a su condición. En intervención, cada interacción actualizó el perfil pedagógico operativo y activó una recomendación de dificultad, ritmo, formato o retroalimentación. Finalizadas las 30 sesiones, se aplicó el posttest con las mismas escalas y la forma paralela de rendimiento. Los identificadores personales se sustituyeron por códigos alfanuméricos antes del análisis.

2.6 Análisis estadístico

Se verificaron completitud, rangos y coherencia de las variables. Se calcularon medias, desviaciones estándar y diferencias estandarizadas en la línea base. Las comparaciones de ganancia entre grupos se estimaron mediante pruebas t de Welch y d de Cohen, con intervalos de confianza del 95 % para la diferencia de cambios. Como análisis principal ajustado, se estimó para cada posttest un modelo lineal con condición, valor pretest, nivel educativo, tipo de diversidad, edad, asistencia, competencia digital y nivel de apoyo. La moderación exploratoria se examinó en modelos de ganancia mediante las interacciones condición $\times$ nivel y condición $\times$ diversidad. Para los desenlaces secundarios se controló la tasa de descubrimientos falsos; el umbral bilateral fue $\alpha = .05$. Los cálculos se reprodujeron con Python 3.12 y SciPy 1.17.

2.7 Consideraciones éticas

La participación debía ser voluntaria, con consentimiento del representante y asentimiento del estudiante en formato accesible. Se aplicaron seudonimización, minimización de datos, acceso restringido y supervisión humana de las adaptaciones. La participación no condicionó calificaciones ni apoyos educativos.

3. RESULTADOS

3.1 Calidad de la base y comparabilidad inicial

La base incluyó 200 participantes y no presentó valores perdidos. La distribución fue exactamente equilibrada por condición, nivel educativo y tipo de diversidad. Los grupos fueron comparables en edad, competencia digital, nivel de apoyo y todos los desenlaces pretest. La asistencia fue mayor en intervención ($M = 91,12$; $DE = 4,77$) que en comparación ($M = 88,94$; $DE = 4,82$), $t(\approx 198) = 3,21$, $p = .002$, diferencia estandarizada = 0,45; por este motivo se mantuvo como covariable en todos los modelos ajustados.

Tabla 1. Características iniciales por condición

Variable	Intervención M (DE)	Comparación M (DE)	DME	
Edad, años	14.75 (0.61)	14.71 (0.64)	0.06	.651
Asistencia, %	91.12 (4.77)	88.94 (4.82)	0.45	.002
Competencia digital, 1–5	3.22 (0.73)	3.25 (0.71)	-0.05	.739
Nivel de apoyo, 1–5	3.14 (0.80)	3.17 (0.73)	-0.04	.760
Personalización, 1–5	2.86 (0.50)	2.85 (0.39)	0.02	.885
Rendimiento, 0–100	60.62 (8.99)	60.71 (9.43)	-0.01	.947
Compromiso, 1–5	2.98 (0.49)	3.00 (0.47)	-0.06	.692
Accesibilidad, 1–5	3.01 (0.45)	3.00 (0.45)	0.03	.857
Participación, 1–5	2.98 (0.47)	2.95 (0.44)	0.06	.647

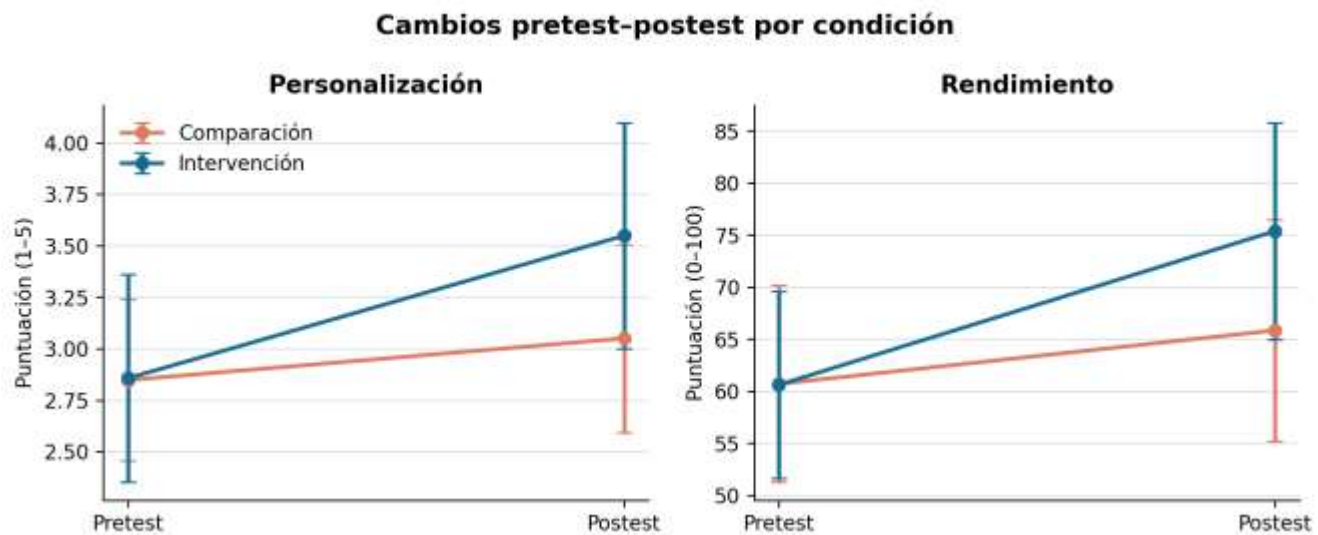
Nota. DME = diferencia media estandarizada. Las pruebas p corresponden a t de Welch.

3.2 Fiabilidad y efecto sobre personalización curricular

La escala de personalización mostró $\alpha = .938$ en el pretest y $\alpha = .964$ en el postest. El grupo de intervención pasó de $M = 2,857$ ($DE = 0,504$) a $M = 3,548$ ($DE = 0,548$); el grupo de comparación pasó de $M = 2,848$ ($DE = 0,390$) a $M = 3,050$ ($DE = 0,457$). La diferencia de ganancias fue 0,489 puntos, IC 95 % [0,411; 0,567], $t(184,96) = 12,42$, $p < .001$, $d = 1,76$. En el modelo ajustado, la intervención mantuvo un efecto de $b = 0,481$, $EE = 0,041$, IC 95 % [0,401; 0,561], $p < .001$, con $R^2 = .764$.

Las cinco dimensiones presentaron el mismo patrón: en el postest, las medias de intervención oscilaron entre 3,500 y 3,576, mientras que las de comparación se situaron entre 3,000 y 3,096. La convergencia dimensional indica que el efecto no quedó restringido a un único componente de la personalización.

Figura 1. Cambios en personalización y rendimiento



Nota. Los puntos representan medias y las barras una desviación estándar.

3.3 Resultados secundarios

Todas las ganancias secundarias favorecieron a la intervención. La diferencia de cambios fue de 9,625 puntos en rendimiento, 0,386 en compromiso, 0,424 en accesibilidad y 0,429 en participación. Los tamaños del efecto fueron grandes y las asociaciones permanecieron significativas tras el ajuste por pretest y covariables. La consistencia interna del compromiso fue $\alpha = .877$ en el pretest y $\alpha = .904$ en el postest.

Tabla 2. Cambios pretest–postest y comparación de ganancias

Resultado	Interv. pre M (DE)	Interv. post M (DE)	Comp. pre M (DE)	Comp. post M (DE)	Diferencia de cambios [IC 95 %]	d
Personalización	2.86 (0.50)	3.55 (0.55)	2.85 (0.39)	3.05 (0.46)	0.489 [0.411; 0.567]	1.76
Rendimiento	60.62 (8.99)	75.38 (10.39)	60.71 (9.43)	65.85 (10.66)	9.625 [8.305; 10.945]	2.03
Compromiso	2.98 (0.49)	3.50 (0.49)	3.00 (0.47)	3.14 (0.49)	0.386 [0.303; 0.469]	1.29
Accesibilidad	3.01 (0.45)	3.56 (0.53)	3.00 (0.45)	3.13 (0.50)	0.424 [0.361; 0.488]	1.86
Participación	2.98 (0.47)	3.52 (0.49)	2.95 (0.44)	3.06 (0.51)	0.429 [0.367; 0.491]	1.94

Nota. Todas las comparaciones de ganancias fueron $p < .001$, incluso tras controlar la tasa de descubrimientos falsos.

Tabla 3. Efectos ajustados y moderación exploratoria

Resultado	b ajustado	IC 95 %	p	Grupo × nivel b (p)	Grupo × diversidad b (p)
Personalización	0.481	[0.401; 0.561]	< .001	-0.068 (0.390)	-0.002 (0.976)
Rendimiento	9.810	[8.447; 11.173]	< .001	-2.482 (0.064)	-0.390 (0.770)
Compromiso	0.401	[0.318; 0.483]	< .001	0.133 (0.118)	-0.029 (0.735)
Accesibilidad	0.428	[0.362; 0.494]	< .001	0.044 (0.499)	0.089 (0.173)
Participación	0.434	[0.371; 0.497]	< .001	0.027 (0.663)	0.038 (0.543)

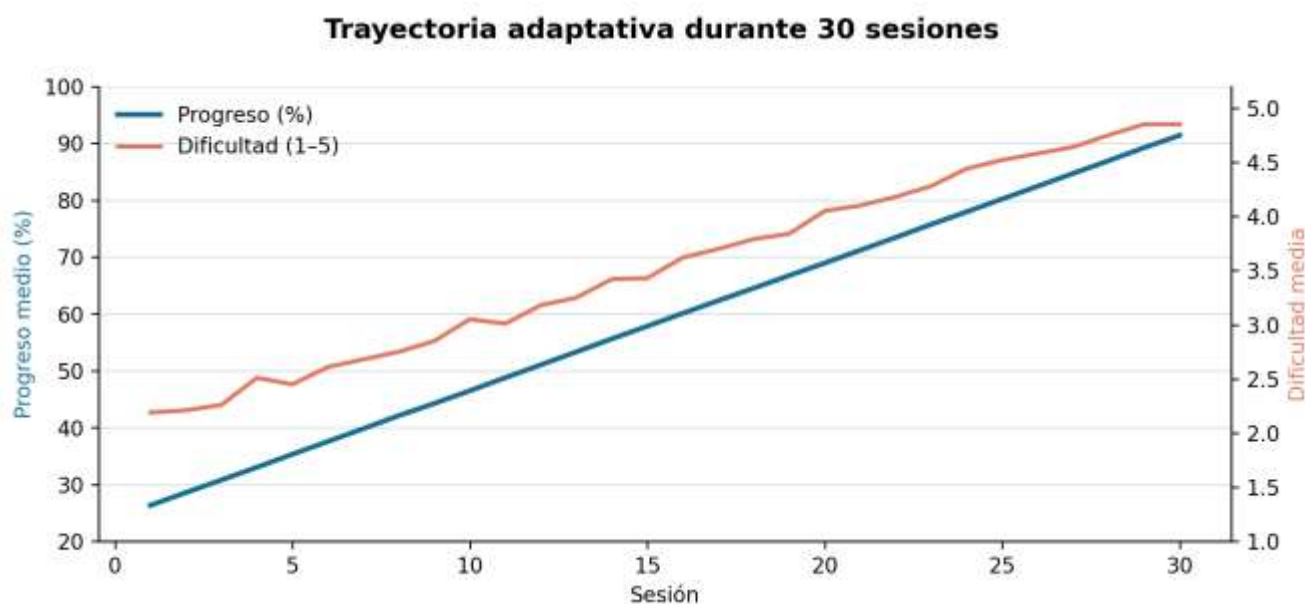
Nota. El efecto ajustado corresponde a la condición de intervención en el posttest, controlando pretest, nivel, diversidad, edad, asistencia, competencia digital y apoyo. Ninguna interacción de moderación fue significativa.

3.4 Funcionamiento del modelo durante las sesiones

Los 100 participantes de intervención generaron exactamente 30 registros cada uno, para un total de 3.000 interacciones. El progreso medio global fue 58,89 % (DE = 19,81), con una dificultad media de 3,54 (DE = 1,01). Entre las sesiones 1 y 30, el progreso promedio aumentó de 26,36 % a 91,38 %, la dificultad de 2,19 a 4,85 y el tiempo medio de respuesta disminuyó de 54,87 a 41,73 segundos.

El sistema presentó texto segmentado en 523 registros, texto alternativo en 514, apoyo visual en 501, subtítulos o transcripción en 499, alto contraste en 487 e instrucción simplificada en 476. El ritmo fue más rápido en 1.025 interacciones, estándar en 1.013 y más lento en 962. La retroalimentación se distribuyó entre refuerzo inmediato (783), ejemplo resuelto (754), reexplicación (746) y pista graduada (717).

Figura 2. Trayectoria adaptativa durante las 30 sesiones



Nota. Las líneas representan promedios por sesión para los 100 estudiantes de intervención.

3.5 Moderación por nivel y diversidad

No se detectaron interacciones significativas entre condición y nivel educativo ni entre condición y tipo de diversidad para ninguno de los cinco resultados. Para personalización, condición $\times$ nivel fue $b = -0,068$, $p = .390$, y condición $\times$ diversidad fue $b = -0,002$, $p = .976$. En rendimiento, la interacción por nivel se aproximó al umbral, $b = -2,482$, $p = .064$, pero su intervalo de confianza incluyó cero. Por tanto, H4 no recibió apoyo estadístico y las diferencias observadas deben interpretarse como exploratorias.

4. DISCUSIÓN

El hallazgo principal fue una ganancia ajustada de 0,481 puntos en personalización curricular a favor de la intervención, acompañada por un tamaño del efecto muy grande. Esta magnitud es coherente con la lógica de los sistemas que modifican la enseñanza a partir de evidencia inmediata; Voultsiou y Moussiades (2025) advierten, sin embargo, que la investigación en educación especial permanece fragmentada por tecnología, condición y contexto. El presente estudio aporta una comparación común para diversidad cognitiva y sensorial dentro de una misma propuesta escolar.

La ventaja no se limitó a la percepción de personalización: el rendimiento matemático mostró una diferencia de cambios de 9,625 puntos y $d = 2,03$. Hussein et al. (2025) sintetizaron beneficios potenciales de tutores, plataformas adaptativas y tecnologías asistivas para rendimiento y autonomía, junto con barreras de implementación. La coincidencia entre personalización y rendimiento fortalece la interpretación pedagógica, aunque la ausencia de aleatorización impide afirmar causalidad definitiva.

Los incrementos en compromiso y participación sugieren que la intervención no solo elevó la complejidad de las tareas, sino que mantuvo condiciones para continuar interactuando. Toyokawa et al. (2023) muestran que los datos de aprendizaje pueden apoyar ajustes docentes en entornos inclusivos si la interpretación conserva el contexto. La disminución del tiempo de respuesta junto con el aumento de dificultad es compatible con un avance progresivo, pero no constituye por sí sola una medida de dominio.

La accesibilidad presentó un efecto grande y se apoyó en una distribución amplia de formatos: ninguno concentró la mayoría de las interacciones. Jadán-Guerrero et al. (2024) proponen integrar IA y entornos adaptativos para responder a necesidades de educación especial desde el diseño de la experiencia. En nuestros datos, la variedad de apoyos respalda que la personalización incluyó modalidad de acceso y no se redujo a alterar el nivel de dificultad.

La ausencia de moderación significativa por tipo de diversidad es alentadora, pero no demuestra equivalencia entre perfiles. Varsik y Vosberg (2024) señalan que la IA puede apoyar inclusión al mismo tiempo que reproduce sesgos o agrava brechas de acceso. Con 50 estudiantes por combinación dentro de cada condición, el estudio detectó efectos principales amplios, aunque podría carecer de potencia para interacciones pequeñas y heterogeneidad dentro de las categorías amplias.

El nivel educativo tampoco modificó de forma concluyente los efectos. En rendimiento, la interacción alcanzó $p = .064$ y debe examinarse en nuevas muestras, sin reinterpretarla como hallazgo positivo. García Ramos y Wilson-Kennedy (2024) proponen articular IA, equidad y Diseño Universal para el Aprendizaje, una combinación que permite mantener objetivos exigentes mientras se diversifican apoyos. Esta orientación puede explicar la consistencia entre décimo de EGB y primero de Bachillerato.

La interpretación de resultados debe mantener una orientación humana. Las directrices éticas para docentes recomiendan conocer el propósito del sistema, los datos utilizados, sus límites y las vías para cuestionar decisiones automatizadas (Comisión Europea, 2022). En este estudio, la supervisión docente fue parte del diseño; no obstante, la base disponible no registró anulaciones o modificaciones docentes, por lo que no fue posible estimar su contribución específica.

La incorporación curricular de IA requiere competencias para comprender técnicas, aplicaciones y consecuencias éticas. UNESCO (2024) organiza estas capacidades en una mentalidad centrada en el ser humano, ética, fundamentos

técnicos y diseño de sistemas. La formación docente debería incluir lectura de trazas, identificación de recomendaciones inadecuadas y selección de apoyos accesibles, además del manejo operativo de la plataforma. También es necesario evitar que la adaptación se convierta en vigilancia excesiva o clasificación rígida. La guía de UNESCO (2023b) insiste en proteger la agencia humana, la privacidad y la adecuación a la edad al utilizar IA en educación. Los perfiles del estudiante deberían emplear solo datos pedagógicos necesarios, permitir revisión y caducar cuando dejan de ser pertinentes.

Finalmente, la sostenibilidad depende del ecosistema institucional. El OECD Digital Education Outlook 2023 destaca que gobernanza, infraestructura, interoperabilidad y capacidad organizacional condicionan el valor educativo de la tecnología (OECD, 2023). Una intervención de 30 sesiones puede mostrar eficacia en condiciones organizadas; su escalamiento exigirá conectividad, soporte, accesibilidad verificable, formación continua y monitoreo de resultados por subgrupo.

4.1 Limitaciones

Primero, la asignación no aleatoria deja abierta la posibilidad de confusión residual, pese al ajuste por pretest y covariables. Segundo, la asistencia fue mayor en intervención y, aunque se controló estadísticamente, puede reflejar diferencias contextuales no observadas. Tercero, la base analítica anonimizada no contiene identificadores de aula o institución; por ello, no fue posible ajustar los errores estándar por conglomeración. Cuarto, las categorías cognitiva y sensorial agrupan perfiles internamente heterogéneos. Quinto, no se dispuso de seguimiento posterior para valorar mantenimiento o transferencia. Sexto, las trazas no incluyen decisiones de anulación docente, incidencias técnicas ni medidas de satisfacción. Finalmente, los efectos muy grandes aconsejan replicación independiente, revisión de la equivalencia de las formas de rendimiento y documentación completa de la plataforma.

4.2 Implicaciones

Las instituciones pueden utilizar un modelo semejante si vinculan cada regla adaptativa con una destreza curricular, prueban accesibilidad con usuarios, conservan supervisión docente y auditan diferencias por subgrupo. Para investigación, se recomienda un ensayo por conglomerados con aulas identificadas, seguimiento longitudinal, medición de fidelidad, análisis de mediación y registro de aceptación o rechazo de recomendaciones. La publicación de reglas, diccionario de variables y código analítico facilitaría la reproducibilidad sin exponer datos de menores.

5. CONCLUSIONES

En esta muestra de 200 estudiantes con diversidad cognitiva y sensorial, el modelo adaptativo en tiempo real se asoció con una mejora superior de la personalización curricular frente a una condición digital no adaptativa. Los efectos se extendieron al rendimiento matemático, compromiso, accesibilidad y participación, y permanecieron después de ajustar el desequilibrio de asistencia y otras covariables. Las interacciones no mostraron evidencia de efectos diferenciales por nivel educativo o tipo de diversidad.

Los resultados apoyan el uso de la IA como infraestructura de apoyo para ajustar dificultad, ritmo, modalidad y retroalimentación bajo control docente. No obstante, la evidencia debe considerarse prometedora y no definitiva debido al diseño cuasiexperimental, la falta de ajuste por aula o institución y la ausencia de seguimiento. La siguiente etapa debe replicar el modelo con asignación por conglomerados, mayor trazabilidad docente y documentación completa de ética, plataforma y contexto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asiri, A. M., Barayan, A. M. A., Almutairi, A. A. A. M., & Alamri, J. M. (2026). Artificial intelligence and the enhancement of quality of life for individuals with visual impairments: A systematic review. *Discover Education*, 5, 454. <https://doi.org/10.1007/s44217-026-01173-x>
- CAST. (2024). Universal Design for Learning Guidelines version 3.0. <https://udlguidelines.cast.org/>

- Cerón Salazar, E. M., & Burbano González, D. C. (2026). Intelligent learning systems in primary and secondary education: A systematic review (2014–2024). *Frontiers in Education*, 11, 1720377. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1720377>
- Chemnad, K., & Othman, A. (2024). Digital accessibility in the era of artificial intelligence—Bibliometric analysis and systematic review. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1349668. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1349668>
- Chiu, T. K. F., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., & Cheng, M. (2023). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100118>
- Comisión Europea. (2022). Ethical guidelines on the use of artificial intelligence (AI) and data in teaching and learning for educators. Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/s/zB7Q>
- Dutt, S., Ahuja, N. J., & Kumar, M. (2022). An intelligent tutoring system architecture based on fuzzy neural network (FNN) for special education of learning disabled learners. *Education and Information Technologies*, 27, 2613–2633. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10713-x>
- European Agency for Special Needs and Inclusive Education. (2022). Inclusive digital education (H. Weber, A. Elsner, D. Wolf, M. Rohs, & M. Turner-Cmuchal, Eds.). https://www.european-agency.org/sites/default/files/Inclusive_Digital_Education.pdf
- Garcia Ramos, J., & Wilson-Kennedy, Z. (2024). Promoting equity and addressing concerns in teaching and learning with artificial intelligence. *Frontiers in Education*, 9, 1487882. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1487882>
- Hussein, E., Hussein, M., & Al-Hendawi, M. (2025). Investigation into the applications of artificial intelligence (AI) in special education: A literature review. *Social Sciences*, 14(5), 288. <https://doi.org/10.3390/socsci14050288>
- Jadán-Guerrero, J., Tamayo-Narvaez, K., Méndez, E., & Valenzuela, M. (2024). Adaptive learning environments: Integrating artificial intelligence for special education advances. In *HCI International 2024 Posters* (pp. 86–94). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61953-3_10
- Kabudi, T., Pappas, I. O., & Olsen, D. H. (2021). AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100017>
- Lan, L., Li, K., & Li, D. (2025). Exploring the application of AI in the education of children with autism: A public health perspective. *Frontiers in Psychiatry*, 15, 1521926. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1521926>
- Ministerio de Educación, Deporte y Cultura. (2025, 20 de febrero). Innovación educativa: Currículo adaptado transforma el aprendizaje de 9.718 estudiantes con discapacidad. <https://educacion.gob.ec/innovacion-educativa-curriculo-adaptado-transforma-el-aprendizaje-de-9-718-estudiantes-con-discapacidad/>
- OECD. (2023). *OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an effective digital education ecosystem*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/c74f03de-en>
- Standen, P. J., Brown, D. J., Taheri, M., Galvez Trigo, M. J., Boulton, H., Burton, A., Hallewell, M. J., Lathe, J. G., Shopland, N., Blanco Gonzalez, M. A., Kwiatkowska, G. M., Milli, E., Cobello, S., Mazzucato, A., Traversi, M., & Hortal, E. (2020). An evaluation of an adaptive learning system based on multimodal affect recognition for learners with intellectual disabilities. *British Journal of Educational Technology*, 51(5), 1748–1765. <https://doi.org/10.1111/bjet.13010>
- Toyokawa, Y., Horikoshi, I., Majumdar, R., & Ogata, H. (2023). Challenges and opportunities of AI in inclusive education: A case study of data-enhanced active reading in Japan. *Smart Learning Environments*, 10, 67. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00286-2>
- UNESCO. (2023a). *Global education monitoring report 2023: Technology in education—A tool on whose terms?* <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723>
- UNESCO. (2023b). *Guidance for generative AI in education and research*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
- UNESCO. (2024). *AI competency framework for students*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391105>

UNICEF. (2025). Guidance on AI and children: Version 3.0. UNICEF Innocenti. <https://www.unicef.org/innocenti/reports/policy-guidance-ai-children>

Varsik, S., & Vosberg, L. (2024). The potential impact of artificial intelligence on equity and inclusion in education (OECD Artificial Intelligence Papers No. 23). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/15df715b-en>

Voultsiou, E., & Moussiades, L. (2025). A systematic review of AI, VR, and LLM applications in special education: Opportunities, challenges, and future directions. *Education and Information Technologies*, 30, 19141–19181. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13550-4>

World Health Organization, & UNICEF. (2022). Global report on assistive technology. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240049451>

Yang, Y., Chen, L., He, W., Sun, D., & Salas-Pilco, S. Z. (2025). Artificial intelligence for enhancing special education for K–12: A decade of trends, themes, and global insights (2013–2023). *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 35, 1129–1177. <https://doi.org/10.1007/s40593-024-00422-0>

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente estudio se llevó a cabo de conformidad con los principios éticos que rigen la investigación con participantes humanos. Antes de la recolección de los datos, el protocolo de investigación fue revisado y aprobado por el comité de ética institucional correspondiente. Todos los participantes fueron informados de manera clara sobre los objetivos del estudio, los procedimientos, las posibles implicaciones y el carácter voluntario de su participación, otorgando posteriormente su consentimiento informado. Durante todo el proceso de investigación se garantizó la confidencialidad de la información, el anonimato de los participantes y el uso exclusivo de los datos recopilados con fines científicos y académicos.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Los autores declaran que la herramienta de inteligencia artificial generativa ChatGPT fue utilizada exclusivamente para la traducción al idioma inglés y la revisión lingüística del manuscrito. La herramienta no contribuyó a la concepción del estudio, el diseño de la investigación, la recolección de datos, el análisis estadístico, la interpretación de los resultados ni a la elaboración de las conclusiones. Los autores asumen la plena responsabilidad por la originalidad, exactitud, integridad y validez científica del contenido presentado en este manuscrito.

FINANCIAMIENTO

La presente investigación no recibió subvenciones, becas ni apoyo financiero específico por parte de organismos públicos, entidades comerciales u organizaciones sin fines de lucro.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses de carácter financiero, personal, profesional o institucional que hayan podido influir en el desarrollo, los resultados o la publicación de esta investigación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Curación de datos: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Análisis formal: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Adquisición de fondos: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Investigación: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Metodología: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Administración del proyecto: (TDRUU)

Recursos: No Aplica

Software: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Supervisión: (TDRUU)

Validación: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Visualización: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Redacción – Borrador original: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)

Redacción – Revisión y edición: (TDRUU, JFJE, LYLC, RDEM, JSHA)