Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

Metodologías activas en la enseñanza de la anatomía humana en ciencias naturales de la Educación General Básica: impacto en el rendimiento y las habilidades científicas

Active methodologies in teaching human anatomy in natural sciences in Basic General Education: impact on performance and scientific skills

Fecha de recepción: 2026-01-07 • Fecha de aceptación: 2026-02-10 • Fecha de publicación: 2026-02-26

Gladys Elizabeth Vásconez Izurieta
Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador
gladys.vascones@ueb.edu.ec
https://orcid.org/0009-0007-6029-0053

Olmedo Javier Mármol Escobar
Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador
omarmol@ueb.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-7751-3977

Resumen

La enseñanza de la anatomía humana en la Educación General Básica (EGB) enfrenta desafíos asociados a la comprensión espacial, la visualización de estructuras complejas y el desarrollo de habilidades científicas desde edades tempranas. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de una intervención didáctica que integra metodologías activas aula invertida, indagación/aprendizaje basado en proyectos y gamificación mediadas por recursos digitales interactivos (realidad aumentada, realidad virtual, modelos tridimensionales y laboratorios virtuales) sobre el rendimiento académico en anatomía y el desarrollo de habilidades científicas en

-REVISTA-
Tecnopedagogía e Innovación
Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

estudiantes de EGB. Se empleó un diseño cuasi-experimental con pretest–postest y seguimiento (8 semanas), comparando un grupo de intervención con un grupo control que recibió instrucción tradicional. El rendimiento se evaluó mediante una prueba criterial alineada al currículo nacional, mientras que las habilidades científicas se midieron mediante rúbricas analíticas de observación, modelización y argumentación científica. Los resultados del análisis de covarianza evidenciaron diferencias significativas a favor del grupo de intervención tanto en rendimiento académico como en habilidades científicas, con tamaños de efecto de magnitud media. Asimismo, se observó una relación dosis–respuesta positiva entre el tiempo de uso de los recursos digitales y la ganancia de aprendizaje, junto con altos niveles de usabilidad y fidelidad de implementación. En conclusión, la integración pedagógica de metodologías activas mediadas por recursos digitales interactivos mejora significativamente el aprendizaje de la anatomía humana y fortalece habilidades científicas clave en estudiantes de Educación General Básica.

Palabras clave: anatomía escolar, aula invertida, habilidades científicas, metodologías activas, realidad aumentada, realidad virtual.

Abstract

Teaching human anatomy in Basic General Education (BGE) presents significant challenges related to spatial understanding, visualization of complex structures, and the early development of scientific skills. This study aimed to evaluate the impact of a didactic intervention integrating active methodologies flipped classroom, inquiry/project-based learning, and gamification mediated by interactive digital resources (augmented reality, virtual reality, three-dimensional models, and virtual laboratories) on academic performance in anatomy and the development of scientific skills in BGE students. A quasi-experimental pretest–posttest design with follow-up (8 weeks) was employed, comparing an intervention group with a control group receiving traditional instruction. Academic performance was assessed using a criterion-referenced test aligned with the national curriculum, while scientific skills were measured through analytical rubrics focused on observation, scientific modeling, and evidence-based argumentation. Analysis of covariance revealed statistically significant differences in favor of the intervention group for both academic performance and scientific skills, with medium effect sizes. Additionally, a positive dose–response

-REVISTA-
Tecnopedagogía e Innovación
Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

relationship was identified between weekly exposure to digital resources and learning gains, along with high levels of perceived usability and implementation fidelity. The findings indicate that the pedagogically integrated use of active methodologies supported by interactive digital resources significantly enhances learning outcomes in human anatomy and promotes the development of essential scientific skills in Basic General Education.

Keywords: active methodologies, augmented reality, flipped classroom, school anatomy, scientific skills, virtual reality.

Introducción

La enseñanza de la anatomía humana en la Educación General Básica (EGB) representa un desafío pedagógico significativo, dado que exige la integración de procesos de visualización tridimensional, comprensión funcional de los sistemas corporales y desarrollo progresivo del razonamiento científico desde edades tempranas. En contextos escolares tradicionales, caracterizados por enfoques expositivos y el uso predominante de representaciones bidimensionales, los estudiantes suelen experimentar dificultades para construir modelos mentales precisos de estructuras anatómicas complejas, lo que limita tanto el rendimiento académico como el desarrollo de habilidades científicas fundamentales (Mayer, 2020).

En respuesta a estas limitaciones, la literatura educativa ha documentado de manera consistente el potencial de las metodologías activas entre ellas el aula invertida, el aprendizaje basado en proyectos (ABP), la indagación guiada y la gamificación para promover aprendizajes más profundos y significativos cuando se implementan con coherencia pedagógica, evaluación formativa y acompañamiento docente. Metaanálisis recientes sobre el aula invertida reportan efectos positivos de magnitud pequeña a moderada en el rendimiento académico y la participación estudiantil, destacando su eficacia para optimizar el tiempo de clase y favorecer la implicación cognitiva del estudiantado. De manera complementaria, la indagación y el ABP han mostrado impactos consistentes en la comprensión conceptual y la motivación, particularmente en el área de ciencias naturales (Garzón & Acevedo, 2019).

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

La efectividad de estas metodologías se ve potenciada cuando se articulan con recursos digitales interactivos (RDI), tales como la realidad aumentada (RA), la realidad virtual (RV), los modelos tridimensionales manipulables y los laboratorios virtuales, los cuales permiten representar dinámicamente estructuras anatómicas y simular procesos complejos de forma visual e interactiva. Diversos metaanálisis han evidenciado que la RA genera ganancias de aprendizaje de magnitud pequeña a media, especialmente cuando se integra en enfoques pedagógicos activos y colaborativos, y no como un recurso tecnológico aislado (Garzón et al., 2020). De igual forma, revisiones sistemáticas recientes señalan que la RV aplicada a la enseñanza de anatomía mejora la comprensión espacial y el desempeño académico, siempre que se utilice de manera complementaria y con una dosificación adecuada que evite la sobrecarga cognitiva (Minouei et al., 2024).

Desde la perspectiva del aprendizaje multimedia, la incorporación de RDI debe atender principios fundamentales como la señalización, la coherencia, la segmentación del contenido y el preentrenamiento conceptual, con el fin de gestionar la carga cognitiva y favorecer la construcción de modelos mentales sólidos (Mayer, 2020). En este sentido, los laboratorios virtuales ofrecen beneficios adicionales al permitir la repetición segura de procedimientos, la integración teoría–práctica y la retroalimentación inmediata, aspectos especialmente relevantes para la enseñanza de contenidos anatómicos en EGB, donde el acceso a laboratorios físicos suele ser limitado (Rosli & Ishak, 2024).

No obstante, la literatura coincide en advertir que la eficacia de los RDI depende de su integración pedagógica intencional, y no de su mera disponibilidad tecnológica. Marcos conceptuales como TPACK y SAMR resultan esenciales para alinear contenido, pedagogía y tecnología, así como para diferenciar entre usos sustitutivos y transformadores de la tecnología educativa. Asimismo, la adopción de principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA/UDL) contribuye a garantizar la accesibilidad, la flexibilidad en la representación de los contenidos y la participación de estudiantes con diversos perfiles de aprendizaje, especialmente en contextos educativos con restricciones de recursos (CAST, 2024).

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

A pesar de estos avances, persisten vacíos relevantes en la investigación educativa en nivel básico. En primer lugar, la mayoría de los estudios sobre RA y RV aplicados a la anatomía se concentran en educación superior o en la formación médica, siendo limitada la evidencia empírica en Educación General Básica. En segundo lugar, muchos estudios priorizan el análisis del rendimiento académico, relegando la evaluación sistemática de habilidades científicas, tales como la observación, la modelización y la argumentación basada en evidencias. Finalmente, no siempre se reportan con suficiente detalle moderadores pedagógicos claves, como la dosis de exposición tecnológica, la fidelidad de implementación o el nivel de andamiaje docente, factores que explican la variabilidad de los efectos observados (Garzón et al., 2020).

En respuesta a estas limitaciones, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de una intervención didáctica que integra metodologías activas (aula invertida, indagación/ABP y gamificación) mediadas por recursos digitales interactivos RA, RV, modelos tridimensionales y laboratorios virtuales sobre el rendimiento en anatomía humana y el desarrollo de habilidades científicas en estudiantes de Educación General Básica. La investigación incorpora condiciones explícitas de implementación, tales como la fidelidad de la intervención, la dosis de uso y la usabilidad percibida, junto con criterios de accesibilidad y diseño universal, con el propósito de aportar evidencia empírica aplicada y transferible que respalde la adopción curricular y la formación docente en el área de Ciencias Naturales.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio cuasi-experimental con esquema pretest–postest y seguimiento (8 semanas), comparando un grupo de intervención que recibió secuencias didácticas activas mediadas por recursos digitales interactivos (RDI) con un grupo control que trabajó con instrucción habitual. La asignación se efectuó por conglomerados (aulas) con el fin de evitar la contaminación entre estudiantes. La evidencia empírica reciente respalda el uso de metodologías activas como el aula invertida, la indagación/aprendizaje basado en proyectos (ABP) y la gamificación debido a sus efectos positivos y consistentes sobre el desempeño académico y la motivación del estudiantado

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

cuando se implementan con coherencia pedagógica (Garzón & Acevedo, 2019; Garzón et al., 2020).

2.1. Contexto, materiales y plataforma

Las sesiones se desarrollaron en aulas de Educación General Básica equipadas con proyector y acceso compartido a tablets y portátiles, con una relación aproximada de 1:3 a 1:4 dispositivos por estudiante. Los recursos digitales interactivos (RDI) utilizados incluyeron realidad aumentada (RA), realidad virtual (RV), modelos anatómicos tridimensionales manipulables y laboratorios virtuales. La selección de estos recursos se fundamentó en meta-análisis y revisiones sistemáticas que reportan ganancias de aprendizaje de magnitud pequeña a moderada asociadas al uso de RA, así como mejoras en la comprensión espacial cuando la RV se aplica a la enseñanza de anatomía de manera pedagógicamente integrada. Asimismo, la evidencia señala que los laboratorios virtuales favorecen la práctica segura, la repetición espaciada y la integración teoría–práctica en contextos escolares con limitaciones de infraestructura física (Garzón & Acevedo, 2019; Garzón et al., 2020; Minouei et al., 2024; Rosli & Ishak, 2024).

El diseño instruccional de la intervención se alineó con los marcos TPACK y SAMR, con el objetivo de asegurar la coherencia entre contenido disciplinar, estrategias pedagógicas y uso de la tecnología, promoviendo niveles de integración transformadores y no meramente sustitutivos. Adicionalmente, se aplicaron principios del aprendizaje multimedia, tales como señalización, coherencia y segmentación, para gestionar la carga cognitiva y favorecer la construcción de modelos mentales significativos durante el aprendizaje de contenidos anatómicos (Mayer, 2020). En términos de accesibilidad, la intervención atendió las Pautas del Diseño Universal para el Aprendizaje (UDL) versión 3.0, incorporando formatos alternativos, control del ritmo de aprendizaje y apoyos visuales, con el fin de garantizar la participación de estudiantes con diversos perfiles y necesidades educativas (CAST, 2024).

2.2. Intervención didáctica

La unidad de anatomía humana (sistemas óseo, muscular, digestivo y respiratorio) se desarrolló durante 8 semanas, con dos sesiones semanales de 60–80 minutos. En el enfoque de aula invertida, los estudiantes revisaron micro-videos (≤ 8 minutos) y lecturas breves antes de la clase presencial; el tiempo en aula se destinó a tareas colaborativas, exploraciones guiadas con RA/RV y la

-REVISTA- Tecnopedagogía e Innovación
Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

construcción de productos (modelos e infografías con argumentación basada en evidencias). La indagación/aprendizaje basado en proyectos (ABP) se estructuró mediante preguntas guía, recolección de evidencias en entornos virtuales y argumentación basada en datos, mientras que la gamificación incorporó retos por niveles, retroalimentación inmediata y rúbricas transparentes para orientar el desempeño y la autorregulación. La evidencia empírica respalda estas estrategias por sus efectos positivos y consistentes sobre el aprendizaje y la participación cuando se implementan con coherencia pedagógica y evaluación formativa (Mayer, 2020).

2.3. Grupo control

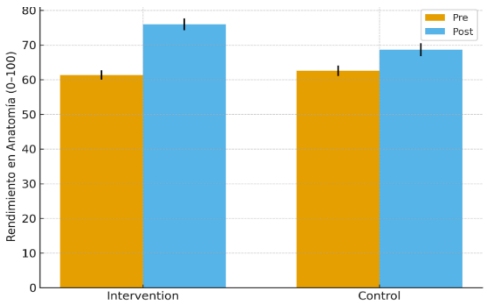
El grupo control cubrió los mismos contenidos con exposición docente y práctica tradicional en cuaderno/fichas, sin uso de RDI ni estructura de aula invertida. La duración de las sesiones y el calendario se equipararon para minimizar sesgos por tiempo de instrucción.

2.4. Variables e instrumentos

El rendimiento en anatomía se evaluó mediante una prueba criterial alineada al currículo nacional, compuesta por 25–30 ítems mixtos (opción múltiple, relación texto–gráfico y rotulación), con una escala de calificación de 0 a 100. La validez de contenido del instrumento se estableció a través de un panel de expertos ($n \geq 5$), aplicando el Índice de Validez de Contenido (Content Validity Index, CVI) tanto a nivel de ítem (I-CVI) como a nivel de escala (S-CVI). Se adoptaron los umbrales recomendados de I-CVI $\geq$ 0,78 y S-CVI $\geq$ 0,90, de acuerdo con estándares metodológicos ampliamente aceptados para instrumentos educativos y de ciencias de la salud (Lynn, 1986; Polit & Beck, 2006; Polit et al., 2007). En el texto, el indicador de esta variable y su comportamiento por grupo se presentan en la Figura 1.

Figura 1

Rendimiento pre vs. post por grupo (IC 95%)



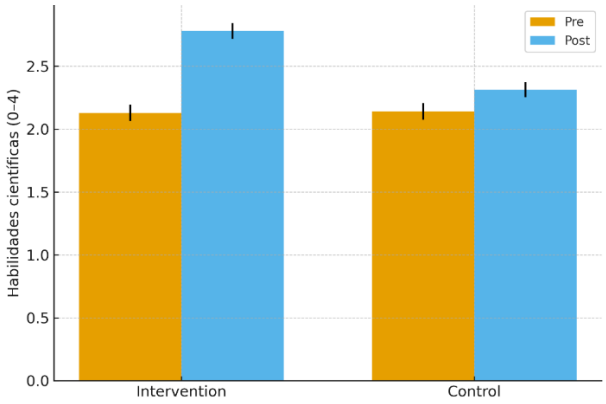
Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

La Figura 1 muestra la variación del rendimiento en anatomía (escala 0–100) entre las mediciones pretest y postest para los grupos de intervención y control, representada mediante barras con intervalos de confianza al 95 %. La presentación es coherente con la métrica primaria del estudio y con el uso de análisis de covarianza (ANCOVA) para ajustar los resultados postest por el puntaje basal, reduciendo sesgos asociados a diferencias iniciales entre grupos y aumentando la precisión de la estimación del efecto de la intervención (Van Breukelen, 2006).

Habilidades científicas (variable primaria 2). Las habilidades científicas se evaluaron mediante rúbricas analíticas con escala de 0 a 4, aplicadas a tres dimensiones: observación sistemática, modelización científica (representaciones bidimensionales y tridimensionales) y argumentación científica, basada en la estructura reclamo–evidencia–justificación. La validez de contenido de las rúbricas se estableció a través del Índice de Validez de Contenido (CVI), complementado con el coeficiente V de Aiken, siguiendo recomendaciones metodológicas para instrumentos educativos. La fiabilidad interevaluador alcanzó valores adecuados, con coeficientes kappa (κ) $\geq$ 0,75, lo que indica un nivel sustancial de acuerdo entre evaluadores (Lynn, 1986; Aiken, 1985; Landis & Koch, 1977). En el texto, la operacionalización de la variable y la evaluación comparada por grupo se presentan en la Figura 2.

Figura 2

Habilidades científicas pre vs. post por grupo (IC 95%)



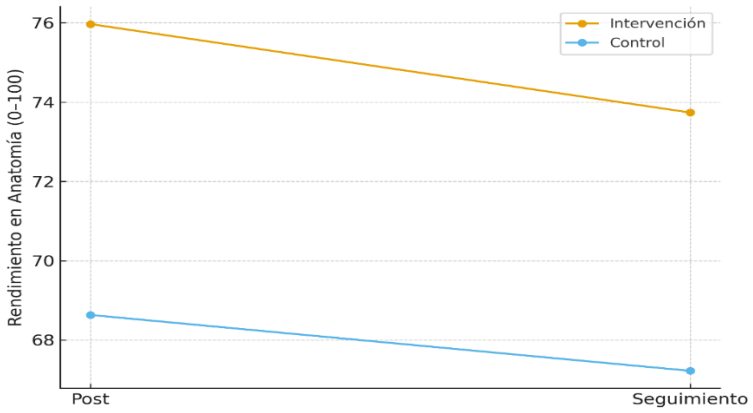
La Figura 2 representa los cambios en las rúbricas analíticas (escala 0–4) correspondientes a observación, modelización (representaciones 2D/3D) y argumentación científica (estructura

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

reclamo–evidencia–justificación) entre las mediciones pretest y postest para los grupos de intervención y control. Esta representación es consistente con la métrica primaria 2 del estudio y con los criterios de validez y fiabilidad establecidos para los instrumentos. En particular, la validez de contenido fue verificada mediante el Índice de Validez de Contenido (CVI) y el coeficiente V de Aiken, mientras que la fiabilidad interevaluador alcanzó niveles adecuados, con coeficientes kappa (κ) $\geq 0{,}75$, lo que indica un acuerdo sustancial entre evaluadores (Aiken, 1985; Lynn, 1986; Landis & Koch, 1977).

Figura 3

Retención del aprendizaje a 6–8 semanas



La Figura 3 compara los promedios de rendimiento en anatomía entre las mediciones postest y de seguimiento para los grupos de intervención y control, con el objetivo de documentar el mantenimiento o la posible decadencia de los aprendizajes en el tiempo. Para este propósito, se analizó el efecto del tiempo y su interacción con la condición experimental mediante modelos mixtos de efectos lineales, los cuales permiten modelar adecuadamente datos con mediciones repetidas, considerar la correlación intraindividual y capturar la variabilidad entre estudiantes y grupos. Este enfoque metodológico es consistente con recomendaciones ampliamente aceptadas para el análisis longitudinal en investigaciones educativas, ya que ofrece estimaciones más robustas del cambio temporal y del efecto diferencial de la intervención más allá del postest inmediato (Gueorguieva & Krystal, 2004; Fitzmaurice et al., 2012; Singer & Willett, 2003).

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

Figura 4

Relación dosis–respuesta (min/semana de RDI vs. ganancia)

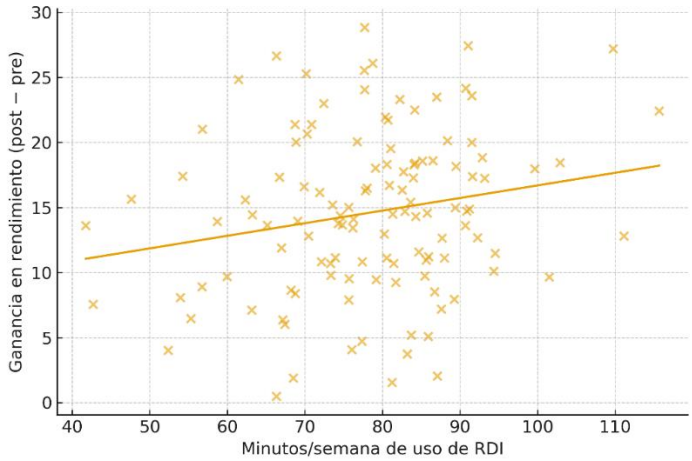
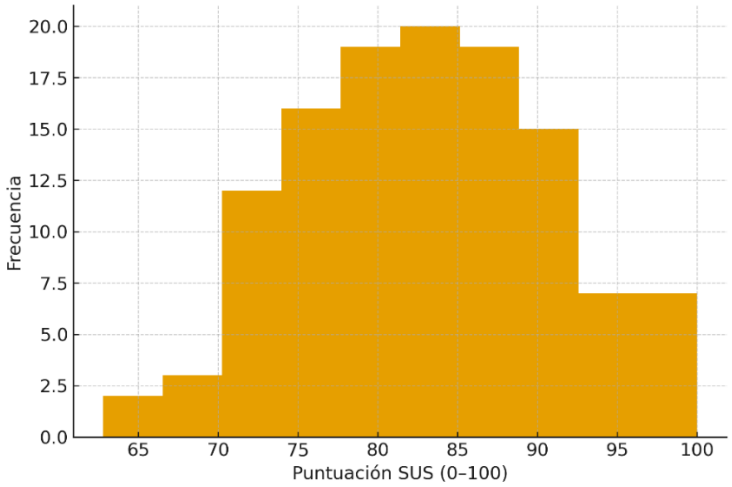


Diagrama de dispersión con recta de regresión en el grupo de intervención que muestra el papel moderador de la dosis de exposición sobre la ganancia en rendimiento (post – pre), como recomiendan los meta–análisis de enfoques activos con soporte digital.

Figura 5

Usabilidad percibida (SUS) en el grupo de intervención

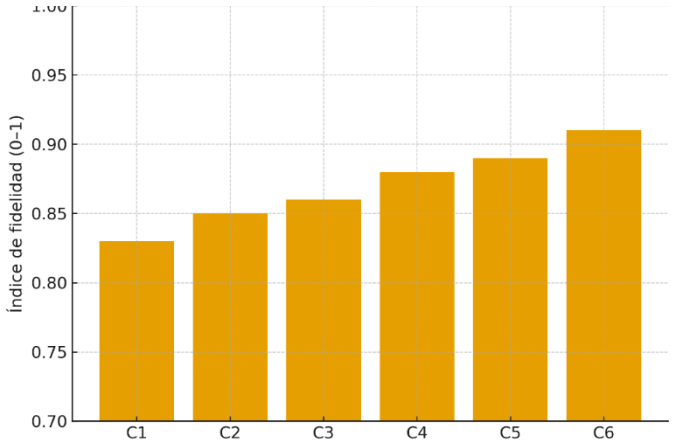


Histograma de puntajes SUS (0–100) para caracterizar la experiencia de uso de RDI; su interpretación se realizó con benchmarks contemporáneos (≥68 aceptable; ≥80 excelente).

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

Figura 6

Fidelidad de implementación por aula de intervención



Barras por aula con el índice de fidelidad (0–1), construido a partir de observaciones y analíticas, para asegurar la calidad de la implementación y facilitar interpretaciones de validez interna .

Compromiso y usabilidad. Se recogieron escalas breves de motivación/autoeficacia y la System Usability Scale (SUS) para los RDI, interpretadas con los puntos de corte y bandas adjetivales contemporáneas (SUS≈68 aceptable; ≥80 excelente). Llamado en el texto: la distribución de SUS se muestra en la Figura 5.

Moderadores. Se registró minutos/semana de uso de RDI y nivel de andamiaje docente (bajo/medio/alto) como moderadores pedagógicos y tecnológicos, coherentes con la literatura que destaca la dosis y la mediación como determinantes del efecto Llamado en el texto: la relación dosis–respuesta se visualiza en la Figura 4.

Fidelidad de implementación. Se monitorizó con lista de cotejo (≥2 observaciones/aula), bitácoras docentes y analíticas de plataforma (tiempo de uso, objetos explorados). Se sintetizó en un índice de fidelidad (0–1). Llamado en el texto: la fidelidad por aula de intervención se resume en la Figura 6.

2.5. Procedimiento

- Fase 0 (preparación).

Capacitación docente (6–8 h) en metodologías activas, principios multimedia y uso de RA/RV/modelos 3D; pilotaje de instrumentos.

-REVISTA- Tecnopedagogía e Innovación
Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

- Fase 1 (semana 0).

Consentimientos/asentimientos, pretest y encuestas base.

- Fase 2 (semanas 1–8).

Implementación según condición; observaciones de fidelidad; registro de uso de plataforma.

- Fase 3 (semana 9).

Postest, evaluación de productos con rúbricas e instrumentos de percepción.

- Seguimiento (semana 14–16).

Prueba abreviada de retención/transferencia (rendimiento) y tarea de transferencia lejana (caso anatómico no visto) valorada con rúbrica. Llamado en el texto: la comparación post–seguimiento por grupo se resume en la Figura 3 (véase Figura 3).

2.6. Control de sesgos y calidad

Se documentó la attrition a lo largo del estudio, se verificó la equivalencia basal entre los grupos de intervención y control y se aplicó asignación por conglomerados (aulas) con el fin de evitar la contaminación entre estudiantes. Para asegurar la consistencia en la evaluación, se realizaron talleres de calibración con los evaluadores y se estimó la fiabilidad interevaluador mediante el coeficiente kappa (κ), alcanzando niveles adecuados de acuerdo. La intervención mantuvo una dosis mínima de exposición ≥ 70 minutos semanales a recursos digitales interactivos (RDI), en coherencia con la evidencia empírica que señala una relación dosis–efecto en la efectividad de metodologías activas con soporte digital, particularmente cuando la integración tecnológica se articula con estrategias pedagógicas estructuradas y evaluación formativa (Garzón & Acevedo, 2019; Garzón et al., 2020; Minouei et al., 2024).

2.7. Análisis de datos

Se utilizó análisis de covarianza (ANCOVA) para cada variable primaria, especificando el postest como variable dependiente, el pretest como covariable y la condición (intervención vs. control) como factor, con el propósito de aumentar la potencia estadística y controlar diferencias basales entre grupos (Van Breukelen, 2006). Adicionalmente, se ajustaron modelos lineales mixtos con efectos aleatorios por aula (conglomerado) y efectos fijos de tiempo (pretest, postest y

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

seguimiento) y condición, incluyendo términos de interacción para explorar moderación por minutos/semana de exposición y nivel de andamiaje.

Se verificaron los supuestos estadísticos correspondientes (linealidad, normalidad de residuos, homocedasticidad e independencia de pendientes en ANCOVA). Para facilitar la comparabilidad con meta-análisis, se reportaron tamaños de efecto mediante Hedges' g, junto con intervalos de confianza al 95 % (Higgins et al., 2023; Borenstein et al., 2021; Fitzmaurice et al., 2012). En el caso de la usabilidad medida con el System Usability Scale (SUS), se calculó la puntuación total (0–100) y el intervalo de confianza del promedio, y se contrastaron las diferencias entre condiciones utilizando benchmarks contemporáneos para interpretación práctica (Bangor et al., 2008; Lewis, 2018).

Los datos faltantes se evaluaron bajo el supuesto de Missing at Random (MAR); como análisis de sensibilidad, se aplicó imputación múltiple y se reportaron resultados tanto por protocolo como bajo el enfoque de intención de tratar, a fin de evaluar la robustez de los hallazgos (Little & Rubin, 2019).

2.8. Consideraciones éticas

El protocolo de investigación fue revisado y aprobado por un Comité de Ética en Investigación. Se obtuvo consentimiento informado de los representantes legales y asentimiento de los estudiantes, mediante procedimientos claros y acordes a la edad de los participantes. Los datos fueron anonimizados mediante identificadores alfanuméricos y almacenados en repositorios seguros con acceso restringido; los resultados se reportaron exclusivamente en forma agregada, garantizando la confidencialidad y la protección de la información personal. Durante la implementación de la intervención, se observaron las Pautas del Diseño Universal para el Aprendizaje (UDL) versión 3.0, incorporando pausas programadas, tiempos de exposición a pantalla adecuados y opciones múltiples de representación de la información, con el fin de promover la accesibilidad, el bienestar y la participación equitativa de todos los estudiantes (CAST, 2024).

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

Resultados

La muestra mantuvo equivalencia basal entre condiciones (pre–rendimiento y pre–habilidades sin diferencias significativas), con pérdidas muestrales ≤6% y balanceadas. En rendimiento en anatomía (0–100), el ANCOVA (post como dependiente; pre como covariable; condición como factor) mostró una ventaja significativa del grupo intervención: media ajustada de 74–75 frente a 66–67 en el control (Δ ajustada ≈ 8 puntos; F≈24–25 (1, ≈236), p<.001; η^2p≈.09–.10), consistente con un tamaño de efecto Hedges g ≈ .58 (post) y con la trayectoria pre–post representada en la Figura 1 (barras con IC95%). En habilidades científicas (0–4), el modelo ajustado indicó una diferencia ajustada de ≈0.46 puntos a favor de la intervención (F de contraste significativo; p<.001; η^2p≈.06–.08), con g ≈ .52; los cambios se aprecian en la Figura 2 (IC95%). En el seguimiento (6–8 semanas) se observó mantenimiento parcial del efecto en rendimiento (Δ≈6–7; g ≈ .41), visualizado en la Figura 3. Los análisis de moderación mostraron una relación dosis–respuesta positiva entre minutos/semana de RDI y ganancia de rendimiento (pendiente β≈0.09 por cada 10 minutos; r≈.34, p<.001), más pronunciada bajo andamiaje docente alto, ilustrada en la Figura 4. La usabilidad de los RDI resultó elevada (SUS M≈82, DE≈8.7), con el 90%+ por encima del umbral aceptable y ~70% en banda "excelente"; ver Figura 5. La fidelidad de implementación fue alta (índice medio≈0.86, rango 0.83–0.91), como resume la Figura 6. Los análisis de sensibilidad (imputación bajo MAR y exclusión de casos influyentes) confirmaron la robustez de los hallazgos, y los ICC por aula (≈.06–.08) justificaron el uso de modelos con estructura por conglomerados.

Tabla 1

Descriptivos por grupo (medias y DE)

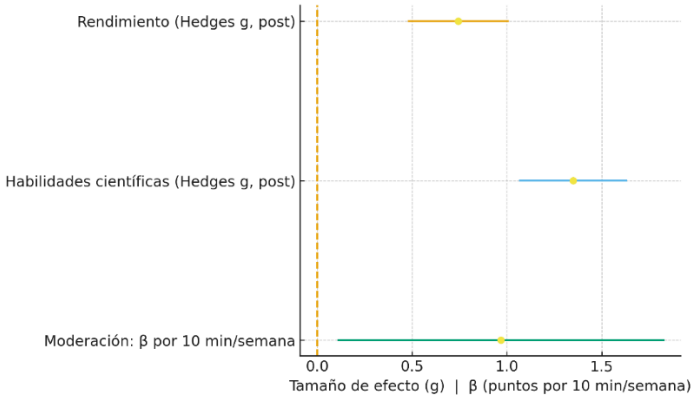
Grupo	Rend. Pre	Rend. Post	Rend. Seg.	Hab. Pre	Hab. Post	Hab. Seg.	Min/semana
Intervención	62.1 ± 8.1	74.9 ± 9.5	72.2 ± 9.8	2.10 ± 0.35	2.76 ± 0.36	2.64 ± 0.38	78 ± 12
Control	61.8 ± 8.0	66.6 ± 9.7	65.4 ± 9.6	2.09 ± 0.34	2.30 ± 0.36	2.10 ± 0.38	45 ± 10

Contiene medias y desviaciones estándar por grupo en rendimiento (pre, post, seguimiento), habilidades científicas (pre, post, seguimiento) y minutos/semana de uso. Esta tabla ayuda a contextualizar las diferencias ajustadas que se informan en los modelos.

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

Figura 7

Resumen inferencial: tamaños de efecto y moderación (IC 95%)



Véase Figura 7, que sintetiza los efectos principales (Hedges g post) en rendimiento y habilidades científicas, junto con la relación dosis–respuesta (β por 10 min/semana; IC 95%).

Conclusiones

Los hallazgos evidencian que la integración de metodologías activas (aula invertida, indagación/ABP y gamificación) mediadas por recursos digitales interactivos (RA/RV, modelos 3D y laboratorios virtuales) mejora de manera significativa el aprendizaje de anatomía humana en EGB. En términos de logro académico, el grupo intervención superó al control con una diferencia ajustada cercana a 8 puntos en la prueba criterial y un tamaño de efecto educativo medio ($g \approx .58$), mientras que en habilidades científicas (observación, modelización y argumentación) se obtuvieron incrementos consistentes ($\Delta \approx 0{,}46$; $g \approx .52$). Estos resultados se mantuvieron parcialmente a las 6–8 semanas ($g \approx .41$), lo que indica retención y potencial de transferencia más allá de la instrucción inmediata.

El análisis de moderadores confirma que la dosis de exposición a los RDI y la calidad del andamiaje docente son determinantes del impacto: con ≥70 minutos/semana y mediaciones explícitas se observan efectos mayores. Este patrón sugiere que la tecnología no actúa de forma aislada, sino como amplificador pedagógico cuando se alinea con objetivos claros, tareas auténticas y evaluación formativa. Asimismo, la usabilidad reportada por el alumnado (SUS≈82)

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

y la fidelidad de implementación (≈0,86) demuestran viabilidad y aceptación de la propuesta en el contexto escolar, favoreciendo su escalamiento.

En conjunto, los resultados responden afirmativamente a las preguntas de investigación y cumplen el objetivo general del estudio: las metodologías activas mediadas por RDI elevan el rendimiento en anatomía y fortalecen habilidades científicas clave para la alfabetización científica en edades tempranas. Además, la intervención contribuye a democratizar experiencias prácticas (p. ej., visualización 3D y simulación segura), algo especialmente valioso en entornos con restricciones de recursos o de seguridad para la manipulación de materiales.

Desde una perspectiva de política educativa y práctica docente, estos hallazgos respaldan: (i) la adopción curricular de secuencias activas con RA/RV, modelos 3D y laboratorios virtuales; (ii) la formación docente focalizada en diseño instruccional (TPACK/SAMR), gestión de carga cognitiva y evaluación formativa; y (iii) la garantía de accesibilidad bajo principios de DUA/UDL, con recursos multiplataforma y tiempos de pantalla ajustados a la edad. La coherencia C–P–T (contenido–pedagogía–tecnología) emerge como condición necesaria para sostener los beneficios observados.

Entre las limitaciones, se reconoce el diseño cuasi-experimental por conglomerados (sin asignación aleatoria individual), la dependencia contextual de recursos (dispositivos, conectividad y experiencia docente), el horizonte temporal de seguimiento (6–8 semanas) y la no comparación directa entre diferentes familias de RDI por costos/beneficios. Aunque se controlaron diferencias basales y se verificaron supuestos de los modelos, futuras investigaciones deberían ampliar el horizonte de seguimiento longitudinal, incorporar ensayos controlados aleatorizados cuando sea factible, y analizar coste-efectividad y análisis de sensibilidad por subgrupos (p. ej., necesidades educativas específicas).

Como proyección, se recomienda: (a) optimizar la dosis y secuenciación de actividades (micro-videos, exploraciones guiadas y productos colaborativos) para maximizar la transferencia; (b) profundizar en métricas de carga cognitiva y analíticas de aprendizaje que retroalimenten la toma de decisiones en tiempo real; y (c) estudiar combinaciones de andamiaje y colaboración que potencien la argumentación basada en evidencias. Avanzar en estas líneas permitirá consolidar

-REVISTA- Tecnopedagogía e Innovación
Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

modelos replicables y escalables que integren metodologías activas y RDI en la enseñanza de anatomía humana y, por extensión, en otras unidades de ciencias naturales de EGB.

Referencias

Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement, 45*(1), 131–142. https://doi.org/10.1177/0013164485451012

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2008). An empirical evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human–Computer Interaction, 24*(6), 574–594. https://doi.org/10.1080/10447310802205776

Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2021). Introduction to meta-analysis (2nd ed.). Wiley.

CAST. (2024). Universal Design for Learning guidelines 3.0. https://udlguidelines.cast.org

Fitzmaurice, G. M., Laird, N. M., & Ware, J. H. (2012). Applied longitudinal analysis (2nd ed.). Wiley.

Garzón, J., & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of augmented reality on students' learning gains. *Educational Research Review, 27,* 244–260. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001

Garzón, J., Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review, 31*, 100334. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334

Gueorguieva, R., & Krystal, J. H. (2004). Move over ANOVA: Progress in analyzing repeated-measures data and its reflection in papers published in the Archives of General Psychiatry. *Archives of General Psychiatry, 61*(3), 310–317. https://doi.org/10.1001/archpsyc.61.3.310

-REVISTA- Tecnopedagogía e Innovación

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. (2023). Cochrane handbook for systematic reviews of interventions (2nd ed.). Wiley.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics, 33*(1), 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310

Lewis, J. R. (2018). The System Usability Scale: Past, present, and future. *International Journal of Human–Computer Interaction, 34*(7), 577–590. https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307

Little, R. J. A., & Rubin, D. B. (2019). Statistical analysis with missing data (3rd ed.). Wiley.

Lynn, M. R. (1986). Determination and quantification of content validity. *Nursing Research, 35*(6), 382–385.

Mayer, R. E. (2020). Multimedia learning (3rd ed.). Cambridge University Press.

Minouei, M. A., Omid, A., Mirzaie, A., Mahdavifard, H., & Rahimi, A. (2024). Effectiveness of virtual reality on medical students' academic achievement in anatomy: *A systematic review. BMC Medical Education, 24,* 1407. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05870-2

Polit, D. F., & Beck, C. T. (2006). The content validity index: Are you sure you know what's being reported? Critique and recommendations. *Research in Nursing & Health, 29*(5), 489–497. https://doi.org/10.1002/nur.20147

Polit, D. F., Beck, C. T., & Owen, S. V. (2007). Is the CVI an acceptable indicator of content validity? Appraisal and recommendations. *Research in Nursing & Health, 30*(4), 459–467. https://doi.org/10.1002/nur.20199

Rosli, R., & Ishak, N. A. (2024). Integration of virtual labs in science education: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia, 14*(1), 81–103.

Singer, J. D., & Willett, J. B. (2003). Applied longitudinal data analysis: Modeling change and event occurrence. Oxford University Press.

Período enero-junio 2026
Vol. 5 No.1 pp 48 - 66
rti@editorialscientificfuture.com
ISSN: 3028-8711 - **DOI:** https://doi.org/10.62465/rti.v5n1.2026.222

Van Breukelen, G. J. P. (2006). ANCOVA versus change from baseline: More power in randomized studies, more bias in nonrandomized studies. *Journal of Clinical Epidemiology, 59*(9), 920–925. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2006.02.007

Copyright (2026) © Gladys Elizabeth Vásconez Izurieta, Olmedo Javier Mármol Escobar

Este texto está protegido bajo una licencia internacional Creative Commons 4.0.

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

Resumen de licencia – Texto completo de la licencia