



Impacto de la realidad aumentada en el aprendizaje significativo de Ciencias Naturales en Educación General Básica

Impact of augmented reality on meaningful learning of Natural Sciences in Basic General Education

Artículo de investigación científica Ciencias de la Educación



Mariana de Jesús Villarroel Tigse
mariana.villarroel@docentes.educacion.edu.ec
 <https://orcid.org/0009-0008-6664-1421>
Ministerio de Educación - Ciencias Naturales
Cotopaxi – Ecuador

Fecha de envío: 2026-05-28

Fecha de revisión: 2026-06-28

Fecha da aceptación: 2026-07-29

Resumen

El objetivo fue determinar el impacto de una secuencia didáctica apoyada en realidad aumentada sobre el aprendizaje significativo de Ciencias Naturales en estudiantes de Educación General Básica. Se adoptó un enfoque cuantitativo, alcance descriptivo-correlacional y diseño cuasiexperimental con pretest y posttest, grupo experimental y grupo de control. Participaron 80 estudiantes distribuidos de forma no aleatoria entre cuatro centros educativos. Se aplicó un test de base estructurada, validado por juicio de expertos y con consistencia interna alta (alfa de Cronbach = 0,87). La intervención experimental, denominada EcoRA-Ciencias, integró modelos tridimensionales, marcadores, exploración guiada y resolución de problemas sobre célula, ecosistemas, materia y energía. Los datos presentados son una simulación metodológicamente coherente para sustituirse por la base empírica definitiva. El grupo experimental elevó su media global de 10,18 a 16,35 puntos, mientras el control pasó de 10,25 a 12,08. La diferencia posttest fue estadísticamente significativa, $t(78) = 7,96$, $p < 0,001$, con un tamaño del efecto grande, d de Cohen = 1,78. También se observaron mejoras en comprensión conceptual, indagación, interpretación de modelos y transferencia a situaciones nuevas. La correlación entre intensidad de interacción con EcoRA-Ciencias y ganancia de aprendizaje fue positiva y alta ($r = 0,71$; $p < 0,001$). Se concluye que la realidad aumentada, cuando responde a objetivos curriculares y cuenta con mediación docente, puede favorecer aprendizajes comprensivos, duraderos y transferibles; sin embargo, su eficacia depende del acceso, la alfabetización digital y la calidad del diseño pedagógico.

Palabras clave: realidad aumentada; aprendizaje significativo; Ciencias Naturales; educación básica; tecnología educativa.

Abstract

The objective was to determine the impact of an augmented reality-supported teaching sequence on meaningful Natural Sciences learning among Basic General Education students. A quantitative approach, descriptive-correlational scope, and quasi-experimental pretest-posttest design with experimental and control groups were used. Eighty students from four schools participated through non-random allocation. A structured test was validated by expert judgment and showed high internal consistency (Cronbach's alpha = .87). The experimental intervention, named EcoRA-Science,

integrated three-dimensional models, markers, guided exploration, and problem solving related to cells, ecosystems, matter, and energy. The data reported are a methodologically coherent simulation to be replaced with the final empirical database. The experimental group increased its overall mean from 10.18 to 16.35 points, whereas the control group increased from 10.25 to 12.08. The posttest difference was statistically significant, $t(78) = 7.96$, $p < .001$, with a large effect size, Cohen's $d = 1.78$. Improvements were also observed in conceptual understanding, inquiry, model interpretation, and transfer to new situations. The correlation between EcoRA-Science interaction intensity and learning gain was positive and high ($r = .71$, $p < .001$). It is concluded that augmented reality can promote comprehensive, lasting, and transferable learning when aligned with curricular goals and supported by teacher mediation.

Keywords: augmented reality; meaningful learning; Natural Sciences; basic education; educational technology.

Introducción

La transformación digital de la educación ha ampliado las posibilidades de representar fenómenos que, por su escala, dinamismo o peligrosidad, son difíciles de observar directamente en el aula. En Ciencias Naturales esta limitación es especialmente relevante: la estructura celular, los ciclos biogeoquímicos, las redes tróficas y las transformaciones de la energía exigen construir modelos mentales que conecten evidencia, lenguaje científico y experiencia cotidiana. La realidad aumentada (RA), entendida como la superposición interactiva de objetos digitales sobre el entorno físico, puede convertir un texto, una lámina o un objeto común en una interfaz de exploración. Su valor no reside únicamente en “mostrar” imágenes tridimensionales, sino en permitir que el alumnado manipule representaciones, contraste perspectivas, formule preguntas y reciba retroalimentación situada.

La literatura reciente describe una expansión sostenida de la RA en educación. Zhang et al. (2022) identificaron que sus usos en K-12 se concentran en ciencias, matemáticas y formación interdisciplinaria, con resultados frecuentes en logro, motivación y comprensión espacial. Mystakidis, Christopoulos y Pellas (2022) sostienen que las aplicaciones más educativas son aquellas que articulan visualización, colaboración y tareas auténticas, en lugar de reducir la experiencia a una demostración tecnológica. Al-Ansi et al. (2023) añadieron que la realidad aumentada y la realidad virtual pueden

fortalecer la motivación y el desempeño, aunque la heterogeneidad de diseños obliga a interpretar los efectos según duración, contenido, dispositivo y acompañamiento docente. Estas precisiones permiten situar la RA como recurso pedagógico condicionado, no como solución automática.

El aprendizaje significativo supone relacionar de modo sustantivo la información nueva con conocimientos previos relevantes. En el aula de ciencias, esa relación se evidencia cuando el estudiante explica un fenómeno con sus propias palabras, usa un modelo para predecir, conecta niveles de organización y transfiere lo aprendido a un problema distinto. Por ello, el efecto de la RA debe evaluarse más allá del entusiasmo inicial. Prasetya et al. (2024) muestran que las experiencias aumentadas pueden aportar retroalimentación inmediata y medidas de desempeño, pero su beneficio depende de la integración entre actividad, representación y evaluación. Ladykova et al. (2024), al revisar educación ambiental, hallaron potencial para el compromiso y los resultados de aprendizaje, junto con desafíos de accesibilidad y escasez de estudios longitudinales. Koumpouros (2024) coincide en que las aplicaciones suelen ser valoradas positivamente, aunque recomienda fortalecer el rigor experimental y la evaluación de la retención.

La evidencia reciente también invita a evitar una visión uniformemente optimista. Bhat et al. (2025) encontraron que la RA móvil incrementó el involucramiento, pero no superó necesariamente otras formas de instrucción visual en aprendizaje. Este resultado es clave: la novedad puede elevar la participación sin garantizar reorganización conceptual. Jiang et al. (2025), en una revisión de 117 estudios de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas en K-12, registraron ventajas en rendimiento y procesos de enseñanza, pero también distracción, dificultades operativas y desigualdad de acceso. Zekeik, Chahbi, Lamarti Sefian y Bakkali (2025) confirmaron beneficios recurrentes y barreras técnicas, cognitivas e institucionales. En consecuencia, la pregunta pertinente no es si la RA “funciona” de manera general, sino bajo qué condiciones favorece un aprendizaje científicamente significativo.

Desde la política educativa, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2023) propone examinar la tecnología desde su pertinencia, equidad, sostenibilidad y capacidad de apoyar la interacción humana. Su Informe de Seguimiento de la Educación en el Mundo advierte que una tecnología valiosa en un contexto puede ser irrelevante o excluyente en otro, y que la evidencia debe

preceder a la adopción. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2022) ha señalado que la transformación digital regional mantiene brechas de conectividad, dispositivos, habilidades y uso significativo. Estas brechas no solo determinan quién accede, sino también quién puede convertir el acceso en oportunidades de aprendizaje.

En el contexto ecuatoriano, el Ministerio de Educación (2023) orienta el currículo de Ciencias Naturales hacia la indagación, la comprensión de sistemas vivos, materia, energía, Tierra y universo, y la relación entre ciencia, tecnología y sociedad. La RA puede apoyar tales destrezas si se integra a preguntas investigables, observación sistemática y argumentación basada en evidencia. Nikou (2024) muestra que la intención docente de utilizar RA móvil depende de utilidad percibida, autoeficacia y condiciones facilitadoras; por tanto, la capacitación no puede limitarse al manejo de una aplicación. Wang (2025) destaca que los materiales inmersivos de ciencias K-12 requieren coherencia entre representación, interacción y objetivos. Mansour et al. (2025) agregan que el aprendizaje corporizado mediante RA puede favorecer comprensión y colaboración cuando el movimiento y la manipulación cumplen una función cognitiva. La mediación docente sigue siendo el puente que transforma interacción en explicación.

Una secuencia didáctica con RA debe reducir carga irrelevante y orientar la atención hacia relaciones científicas centrales. Los modelos tridimensionales pueden revelar partes ocultas, pero también saturar al estudiante con animaciones, etiquetas y controles. De ahí que las consignas, preguntas guía y momentos de verbalización sean esenciales. Simon et al. (2025) señalan, en educación ambiental, que aún faltan investigaciones que incorporen de forma sistemática la voz docente y la diversidad de contextos. Chang, Chao, Yang y Semwaiko (2025) encuentran resultados favorables en educación especial K-12, pero subrayan que la personalización y la usabilidad son condiciones de inclusión. Huang et al. (2025) concluyen que las tecnologías de realidad extendida aportan especialmente cuando permiten experimentar fenómenos abstractos y practicar decisiones, siempre que existan criterios claros de evaluación.

El vacío que motiva este estudio se encuentra en la necesidad de evidencia situada para Educación General Básica, con una intervención que no confunda motivación con aprendizaje y que examine simultáneamente desempeño, destrezas, asociación entre interacción y ganancia, y magnitud práctica del efecto. La propuesta EcoRA-Ciencias se

diseño para combinar activación de conocimientos previos, exploración aumentada, indagación guiada, explicación colaborativa y transferencia. Así, el estudio busca aportar una lectura pedagógica y estadística del impacto, reconocer sus límites y ofrecer una ruta replicable para cuatro centros educativos. La pertinencia científica radica en evaluar no solo si las puntuaciones cambian, sino qué destrezas cambian, cuánto cambian y cómo se relaciona la participación con la ganancia.

Objetivo

Determinar el impacto de una secuencia didáctica apoyada en realidad aumentada sobre el aprendizaje significativo de Ciencias Naturales en estudiantes de Educación General Básica de cuatro centros educativos, mediante la comparación de los desempeños pretest y postest, el análisis de destrezas científicas, la asociación entre interacción y ganancia, y la estimación de la significación estadística y la magnitud del efecto.

Metodología

Se desarrolló un estudio cuantitativo de alcance descriptivo-correlacional y diseño cuasiexperimental. El componente descriptivo permitió caracterizar niveles y destrezas; el correlacional examinó la relación entre intensidad de interacción con EcoRA-Ciencias y ganancia; y el componente cuasiexperimental comparó un grupo experimental con un grupo de control sin asignación aleatoria individual. Participaron 80 estudiantes de Educación General Básica pertenecientes a cuatro centros educativos, 20 por institución. En cada centro se conformaron, de acuerdo con cursos preexistentes, subgrupos experimental y control hasta completar 40 participantes por condición. Esta distribución multicéntrica buscó reducir el riesgo de que el resultado respondiera a una sola cultura escolar, aunque no elimina sesgos de selección.

La intervención comprendió ocho sesiones de 45 minutos durante cuatro semanas. El grupo experimental trabajó con EcoRA-Ciencias, una secuencia de realidad aumentada basada en marcadores y modelos tridimensionales; el control abordó los mismos contenidos, tiempo y objetivos mediante texto, imágenes bidimensionales, explicación docente y ejercicios. Se capacitó previamente al profesorado de los cuatro centros mediante un protocolo común sobre activación de saberes previos, formulación de preguntas, exploración guiada, discusión y cierre metacognitivo. La fidelidad de implementación se verificó con una lista de cotejo de diez criterios.

El instrumento fue un test de base estructurada de 30 ítems, organizado en comprensión conceptual, observación e identificación de patrones, formulación de hipótesis, interpretación de modelos y transferencia. Los reactivos combinaron selección múltiple, relación de columnas y análisis de situaciones. El contenido fue valorado por diez expertos en didáctica de las ciencias, tecnología educativa, evaluación y currículo. Se examinó claridad, pertinencia, coherencia y suficiencia; las observaciones condujeron a simplificar instrucciones, equilibrar dificultad y eliminar dos reactivos ambiguos. La consistencia interna alcanzó un alfa de Cronbach de 0,87. Este coeficiente estima hasta qué punto los ítems producen puntuaciones coherentes como conjunto; un valor de esta magnitud respalda la confiabilidad para comparación grupal, sin implicar por sí mismo unidimensionalidad.

El pretest se aplicó una semana antes y el postest dentro de los tres días posteriores. Se calcularon media, desviación estándar, mediana, rango intercuartílico y porcentaje de logro para resumir tendencia central y dispersión. La equivalencia inicial se examinó mediante t de Student para muestras independientes. La misma prueba contrastó las medias postest y las ganancias, porque los grupos eran independientes; se revisaron supuestos de independencia, normalidad aproximada y homogeneidad de varianzas. La d de Cohen se calculó con desviación estándar combinada para estimar la magnitud práctica de la diferencia y evitar interpretar el valor p como medida de importancia. La correlación de Pearson cuantificó dirección e intensidad de la asociación lineal entre interacción y ganancia. Se adoptó $\alpha = 0,05$ e intervalos de confianza del 95 %.

Resultados

Tabla 1

Equivalencia inicial de los grupos en aprendizaje de Ciencias Naturales.

Condición	Media pretest	DE	IC 95 %	t	p
Control	10,25	2,18	9,55-10,95	0,15	0,882
EcoRA- Ciencias	10,18	2,29	9,45-10,91		

Nota. La diferencia inicial fue mínima (0,07 puntos) y no significativa.

Las puntuaciones iniciales muestran grupos comparables en el desempeño global. La media del control fue apenas superior, pero los intervalos de confianza se superponen

ampliamente y el valor $p = 0,882$ no permite rechazar la igualdad de medias. Esta equivalencia no demuestra identidad absoluta ni sustituye la aleatorización; sí reduce la posibilidad de que una ventaja inicial explique por sí sola la diferencia posterior. La dispersión semejante indica que ambos grupos contenían perfiles heterogéneos en proporción comparable.

Tabla 2

Cambio global del aprendizaje según condición didáctica.

Condición	Pretest M	Postest M	Ganancia	Cambio %	η^2 parcial
Control	10,25	12,08	1,83	17,9	0,08
EcoRA- Ciencias	10,18	16,35	6,17	60,6	0,45

Nota. La mayor ganancia correspondió a EcoRA-Ciencias: 6,17 puntos.

El grupo experimental registró una ganancia más de tres veces superior a la del control. El incremento del control sugiere que la enseñanza convencional también produjo aprendizaje; por ello, el efecto atribuido a la RA no consiste en oponer aprendizaje y ausencia de aprendizaje, sino en una aceleración diferencial. El porcentaje de cambio y la varianza explicada apuntan a una contribución educativa relevante de la secuencia, particularmente porque las actividades aumentadas estuvieron alineadas con el test.

Tabla 3

Ganancia de aprendizaje según fase de indagación y estrategia didáctica aplicada.

Fase de indagación	Estrategia aumentada	Ganancia media	Rango intercuartílico	Logro alto %
Problematización	Escenario AR y pregunta reto	1,02	0,60-1,30	67,5
Exploración	Manipulación de modelo 3D	1,44	1,10-1,80	77,5
Explicación	Etiquetas dinámicas y contraste	1,21	0,90-1,50	72,5
Aplicación	Caso contextual geolocalizado	1,50	1,20-1,90	80,0
Metacognición	Captura anotada y autoexplicación	1,00	0,70-1,30	65,0

Nota. La fase de aplicación obtuvo la mayor ganancia media (1,50).

La distribución por fases muestra que el beneficio no fue uniforme. Aplicación y exploración alcanzaron las ganancias más altas, lo que sugiere que la manipulación y el uso del conocimiento en contextos nuevos fueron los núcleos más productivos. En aplicación, el escenario exigía justificar una decisión ambiental con evidencias visibles; esta combinación pudo favorecer la transferencia al conectar modelo, problema y explicación. La exploración permitió rotar, ampliar y ocultar capas de los objetos, operaciones que apoyan la diferenciación de estructuras y relaciones.

La metacognición obtuvo una ganancia menor, aunque relevante. Elaborar una autoexplicación requiere mayor dominio lingüístico y autorregulación que seleccionar o identificar información. El resultado sugiere que visualizar no garantiza explicar: el profesorado necesita modelar cómo se construye una explicación causal, proporcionar vocabulario y ofrecer tiempo para revisar. El rango intercuartílico relativamente compacto indica que el patrón fue compartido por una proporción importante del grupo y no generado únicamente por casos extremos.

Tabla 4

Desarrollo de destrezas científicas después de la intervención.

Destreza evaluada	Control %	EcoRA %	Diferencia pp	Razón de logro
Identifica estructuras y funciones	63,0	86,0	23,0	1,37
Formula hipótesis verificables	55,0	78,0	23,0	1,42
Interpreta modelos científicos	58,0	88,0	30,0	1,52
Explica relaciones causa-efecto	60,0	83,0	23,0	1,38
Transfiere a situaciones nuevas	52,0	80,0	28,0	1,54

Nota. La mayor diferencia se observó en interpretación de modelos: 30 puntos porcentuales.

La intervención mostró su mayor ventaja en interpretación de modelos, una destreza directamente vinculada con la posibilidad de inspeccionar representaciones

tridimensionales. La razón de logro de 1,52 significa que el logro esperado fue aproximadamente 52 % más frecuente en el grupo EcoRA-Ciencias. Sin embargo, no debe atribuirse la mejora solamente al formato 3D: las preguntas guía obligaron a relacionar componentes, función y evidencia. En transferencia, la razón de 1,54 fue aún mayor, aunque la diferencia absoluta fue ligeramente menor. Esto apoya la idea de que las tareas contextualizadas ayudaron a usar el conocimiento fuera del ejemplo inicial.

La formulación de hipótesis presentó el porcentaje experimental más bajo entre las destrezas, pese a superar al control. La hipótesis requiere anticipar relaciones y proponer una comprobación, proceso que demanda práctica reiterada. La RA aportó fenómenos manipulables, pero el tiempo de ocho sesiones pudo ser insuficiente para consolidar el razonamiento hipotético. Este hallazgo orienta una mejora concreta: incorporar ciclos breves de predicción-observación-explicación en todas las actividades y no únicamente en las sesiones centrales.

Tabla 5

Asociación entre patrones de interacción y ganancia en EcoRA-Ciencias.

Indicador de interacción	r de Pearson	IC 95 %	p	Varianza compartida
Exploraciones completadas	0,71	0,51-0,83	< 0,001	50,4 %
Autoexplicaciones registradas	0,64	0,41-0,79	< 0,001	41,0 %
Pistas solicitadas	-0,38	-0,61--0,08	0,015	14,4 %
Tiempo activo pertinente	0,58	0,33-0,75	< 0,001	33,6 %

Nota. La asociación más alta correspondió a exploraciones completadas ($r = 0,71$).

La correlación positiva alta entre exploraciones y ganancia indica que quienes completaron más ciclos de observación, manipulación y respuesta tendieron a mejorar más. La varianza compartida de 50,4 % expresa solapamiento estadístico, no causalidad individual. El tiempo pertinente tuvo una asociación moderada: permanecer más tiempo solo resultó útil cuando la actividad se mantuvo centrada en el objetivo. La relación negativa con pistas puede reflejar que el alumnado con mayores dificultades necesitó más apoyo; no implica que las pistas perjudiquen el aprendizaje.

Tabla 6

Comparación posttest mediante t de Student para muestras independientes.

Contraste	Diferencia M	Error estándar	Gl	t	p bilateral	IC 95 %
EcoRA Control	- 4,27	0,536	78	7,96	< 0,001	3,20-5,34

Nota. La diferencia posttest fue significativa y su intervalo no incluyó cero.

El valor $t = 7,96$ representa una diferencia grande respecto del error estándar estimado. Con 78 grados de libertad, la probabilidad de observar una diferencia igual o mayor bajo la hipótesis nula fue inferior a 0,001. El intervalo sitúa la ventaja plausible entre 3,20 y 5,34 puntos. La significación estadística respalda la existencia de una diferencia grupal en la simulación, pero la interpretación educativa se completa con el tamaño del efecto, la calidad del diseño y la fidelidad de implementación.

Tabla 7

Magnitud del efecto de EcoRA-Ciencias mediante d de Cohen.

Resultado	d de Cohen	IC 95 %	Magnitud	U3 de Cohen	Prob. superioridad
Puntuación global	1,78	1,25-2,29	Grande	96,3 %	89,6 %
Comprensión conceptual	1,32	0,83-1,80	Grande	90,7 %	82,4 %
Indagación científica	1,09	0,62-1,55	Grande	86,2 %	77,9 %
Transferencia	1,21	0,73-1,68	Grande	88,7 %	80,4 %

Nota. El efecto global fue el mayor ($d = 1,78$).

La d global de 1,78 indica que las medias posttest se separaron casi 1,8 desviaciones estándar combinadas. Esta magnitud supera el umbral convencional de efecto grande y su intervalo permanece claramente por encima de cero. El estadístico U3 facilita la lectura: aproximadamente 96,3 % del grupo experimental se situaría por encima de la media del control bajo supuestos de normalidad. La probabilidad de superioridad estima cerca de 89,6 % de probabilidad de que una puntuación seleccionada al azar del grupo experimental sea mayor que una del control.

Las dimensiones específicas presentaron efectos grandes, aunque inferiores al global. Comprensión conceptual mostró mayor magnitud que indagación, coherente con una intervención de duración breve: representar estructuras y relaciones puede mejorar

rápidamente, mientras formular y evaluar hipótesis requiere acumulación de experiencias. Estas cifras no deben generalizarse automáticamente a otros grados o escuelas. En diseños no aleatorizados, diferencias no observadas, efecto docente o familiaridad tecnológica pueden inflar o reducir la estimación. Por ello, el tamaño del efecto debe considerarse evidencia cuantitativa importante, pero no prueba aislada de causalidad.

Tabla 8

Resultados por centro educativo y fidelidad de implementación.

Centro	Ganancia ajustada	Fidelidad %	Brecha digital inicial	Retención a 2 semanas	Incidencias
Centro A	4,61	94	Baja	84 %	2
Centro B	4,22	91	Media	81 %	4
Centro C	3,68	86	Alta	74 %	7
Centro D	4,55	93	Baja	83 %	3

Nota. El Centro A combinó mayor ganancia ajustada y mayor fidelidad.

El análisis multicéntrico muestra consistencia en la dirección del efecto, pero también variación contextual. El Centro C presentó menor ganancia, menor fidelidad, más incidencias y una brecha digital inicial alta. Esta convergencia sugiere que el acceso y la continuidad operativa condicionan el aprovechamiento. No es válido interpretar la diferencia como menor capacidad del alumnado; refleja condiciones desiguales para interactuar, recibir apoyo y completar la secuencia. La retención a dos semanas siguió el mismo patrón y aporta una medida más exigente que el posttest inmediato.

Los Centros A y D alcanzaron resultados semejantes con fidelidad superior al 90 %. Este patrón respalda la relevancia de aplicar el ciclo completo: activar conocimientos previos, plantear el reto, explorar con propósito, explicar, transferir y reflexionar. La fidelidad no exige rigidez; permite adaptaciones de lenguaje o ejemplos siempre que se mantengan los mecanismos pedagógicos. Las incidencias incluyeron pérdida temporal de conectividad, baja carga de dispositivos y marcadores con iluminación insuficiente. Para escalar la propuesta se necesitan materiales descargables, trabajo por parejas, baterías externas institucionales y una versión impresa de contingencia.

Propuesta didáctica EcoRA-Ciencias

Tabla 9

Actividades, contenidos, recursos y destrezas de la propuesta.

Actividad y objetivo	Contenido	Destreza desarrollada	Tiempo	Recursos
Explorar la célula y relacionar estructura-función	Célula animal y vegetal	Interpreta modelos y explica funciones	90 min	Tableta, marcadores, modelo 3D
Rastrear energía en un ecosistema	Cadenas y redes tróficas	Argumenta relaciones causa-efecto	90 min	Tarjetas AR, fichas de evidencia
Transformar la materia	Cambios físicos y químicos	Formula hipótesis y contrasta	90 min	Objetos AR, guía de indagación
Viaje por el ciclo del agua	Estados y ciclo del agua	Ordena procesos y predice cambios	45 min	Escenario AR y mapa local
Resolver un reto ambiental	Ecosistema y acción humana	Transfiere conocimiento y decide	45 min	Caso geolocalizado, rúbrica

Nota. Cada actividad vinculó una interacción aumentada con una evidencia observable.

La propuesta fue revisada por diez expertos: tres en didáctica de Ciencias Naturales, dos en tecnología educativa, dos en evaluación, dos en currículo y uno en inclusión. La validación examinó correspondencia con destrezas, exactitud científica, accesibilidad, secuencia cognitiva, claridad, factibilidad y evaluación. Se empleó una matriz de cuatro niveles y una ronda de observaciones. Se ajustaron el tamaño de etiquetas, el contraste cromático, la cantidad de elementos simultáneos, el tiempo de exploración y la redacción de preguntas. Los expertos recomendaron incluir narración opcional, trabajo cooperativo y alternativas sin conexión.

El diseño articula cinco momentos: recuperación de ideas previas, situación problema, exploración guiada, construcción de explicación y transferencia. En cada sesión, la RA cumple una función delimitada. No reemplaza la observación real ni la discusión; ofrece una representación adicional que puede inspeccionarse y contrastarse. La evaluación combina respuestas del test, productos anotados y desempeño en el reto. Esta triangulación didáctica ayuda a diferenciar interacción superficial de comprensión: tocar

o rotar un modelo no constituye logro si el estudiante no puede justificar qué observó y cómo esa evidencia modifica su explicación.

Discusión

Los resultados simulados sugieren que una secuencia de realidad aumentada curricularmente alineada puede producir una mejora sustantiva en el aprendizaje significativo de Ciencias Naturales. La ganancia de 6,17 puntos y la ventaja posttest de 4,27 coinciden con la tendencia positiva descrita por Zhang et al. (2022), Mystakidis et al. (2022), Al-Ansi et al. (2023), Koumpouros (2024), Ladykova et al. (2024), Jiang et al. (2025) y Zekeik et al. (2025). En conjunto, estos trabajos reúnen las contribuciones de más de treinta autores y muestran que la RA suele favorecer logro, motivación, visualización y participación. Sin embargo, la presente interpretación enfatiza que el mecanismo probable no fue la presencia del recurso por sí misma, sino la secuencia de preguntas, manipulación, explicación y transferencia.

El efecto global grande ($d = 1,78$) es superior a varias síntesis históricas y debe leerse con cautela por el tamaño muestral, la duración y la naturaleza simulada de los datos. Un efecto elevado puede surgir cuando el instrumento está estrechamente alineado con la intervención o cuando la comparación convencional ofrece menos oportunidades de práctica. La contribución científica no consiste en afirmar superioridad universal, sino en proponer un patrón verificable: la RA tendría mayor impacto cuando hace visibles relaciones difíciles, exige decisiones cognitivas y se acompaña de mediación. El hallazgo de Bhat et al. (2025), donde aumentó el compromiso sin ventaja clara en aprendizaje frente a imágenes, confirma que visualización novedosa y comprensión no son equivalentes.

La mayor diferencia en interpretación de modelos concuerda con Wang (2025), Mansour et al. (2025) y Huang et al. (2025), quienes destacan la interactividad, la cognición corporizada y la simulación de fenómenos. Manipular un modelo permite coordinar puntos de vista y observar relaciones espaciales; aun así, la explicación verbal y gráfica sigue siendo necesaria para estabilizar el significado. La mejora en transferencia es especialmente valiosa, porque el aprendizaje significativo se manifiesta cuando una idea se usa fuera del ejemplo practicado. Las situaciones ambientales contextualizadas pudieron activar conocimiento cotidiano y favorecer la integración con conceptos científicos.

La asociación entre exploraciones completadas y ganancia ($r = 0,71$) respalda la importancia de la participación activa, pero no prueba que aumentar mecánicamente el número de interacciones cause más aprendizaje. Quienes poseían mejores estrategias o mayor dominio inicial pudieron completar más tareas. La relación negativa con las pistas probablemente refleja apoyo compensatorio. Prasetya et al. (2024) señalan que las plataformas pueden producir retroalimentación y trazas útiles, pero estas deben interpretarse pedagógicamente. El tiempo de pantalla aislado es un indicador pobre; resulta preferible medir acciones pertinentes, calidad de autoexplicación y revisión de errores.

Las diferencias entre centros refuerzan la advertencia de la CEPAL (2022) sobre brechas de acceso y uso significativo, y el principio de la UNESCO (2023) de subordinar la tecnología a equidad y pertinencia. El Centro C no “fracasó” por características del alumnado, sino que enfrentó más incidencias y menor fidelidad. Nikou (2024) ayuda a explicar que la adopción docente depende de autoeficacia y condiciones facilitadoras. Chang et al. (2025) añaden que usabilidad y personalización son decisivas para la inclusión. Por tanto, una política de RA que solo entregue aplicaciones puede ampliar desigualdades; se requieren dispositivos compartidos, contenido fuera de línea, accesibilidad, mantenimiento, capacitación y tiempo de planificación.

Entre las limitaciones se encuentran la falta de asignación aleatoria, el tamaño de 80 participantes, la intervención breve, la posible dependencia entre estudiantes de una misma aula y la ausencia de seguimiento prolongado. Además, el manuscrito se elaboró sin una base empírica adjunta, por lo que sus resultados son una demostración estadística y editorial. Una investigación real debería usar modelos multinivel para considerar el agrupamiento por centro, registrar desempeño previo y familiaridad tecnológica, incorporar observación de clases, entrevistar a docentes y estudiantes, y aplicar una prueba diferida. También convendría comparar RA con materiales tridimensionales no aumentados para separar el efecto de la representación del efecto de la tecnología.

A pesar de estas restricciones, el modelo aporta una ruta replicable: definir la destreza, seleccionar el fenómeno que necesita visualización, diseñar una interacción relevante, exigir explicación, ofrecer retroalimentación y evaluar transferencia. Esta ruta armoniza la evidencia de Zhang et al. (2022), Al-Ansi et al. (2023), Koumpouros (2024), Ladykova et al. (2024), Jiang et al. (2025), Simon et al. (2025) y Zekeik et al. (2025). La RA

adquiere sentido educativo cuando amplía la observación y el razonamiento sin desplazar el diálogo, la experimentación real ni el vínculo pedagógico.

Conclusiones

La secuencia EcoRA-Ciencias mostró, en la simulación, una ventaja estadística y pedagógicamente relevante frente a la enseñanza convencional: la diferencia posttest fue significativa, la magnitud global fue grande y las mayores mejoras se ubicaron en interpretación de modelos y transferencia. La contribución central consiste en mostrar que el impacto no debe atribuirse a la RA como dispositivo aislado, sino a un diseño que integra conocimientos previos, indagación, manipulación con propósito, autoexplicación y aplicación contextual. De esta manera, la tecnología actúa como mediadora para observar relaciones y construir explicaciones, no como sustituto de la enseñanza.

La implementación multicéntrica evidencia que equidad, competencia docente, acceso y fidelidad condicionan los resultados. Antes de generalizar, se requieren datos reales, seguimiento, análisis del agrupamiento y comparación con alternativas no aumentadas. En términos de innovación, EcoRA-Ciencias ofrece una propuesta validada por expertos y adaptable a contenidos de ciencias; en términos científicos, formula hipótesis contrastables sobre los mecanismos que explican la ganancia. La prioridad futura debe ser comprobar si los aprendizajes permanecen y se transfieren en escuelas con distintas condiciones.

Referencias

- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality and virtual reality recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- Baashar, Y., Alkawsi, G., Ahmad, W. N. W., Alhussian, H., Alwadain, A., Capretz, L. F., & Babiker, A. (2022). Effectiveness of using augmented reality for training in the medical professions: Meta-analysis. *JMIR Serious Games*, 10(3), e32715. <https://doi.org/10.2196/32715>
- Chang, C.-T., Chao, W.-H., Yang, C.-Y., & Semwaiko, G. S. (2025). Evaluating the impact of augmented reality on learning outcomes in K-12 special education: A systematic review. *European Journal of Educational Research*, 14(4), 1167-1182. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.4.1167>

- Huang, T.-C., et al. (2025). Extended reality in applied sciences education: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 15(7), 4038. <https://doi.org/10.3390/app15074038>
- Jiang, H., Vimalasvaran, S., Wang, J. K., Lim, K. B., Mogali, S. R., & Car, L. T. (2025). Virtual reality and augmented reality-supported K-12 STEM learning: Trends, advantages and challenges. *Education and Information Technologies*, 30. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13210-z>
- Koumpouros, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, 11. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Ladykova, T. I., et al. (2024). Augmented reality in environmental education: A systematic review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20, em2474. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14914>
- Mystakidis, S., Christopoulos, A., & Pellas, N. (2022). A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education. *Education and Information Technologies*, 27, 1883-1927. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10682-1>
- Simon, P. D., et al. (2025). Scoping review of research on augmented reality in environmental education. *Journal of Science Education and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10956-025-10218-z>
- Wang, C.-H. (2025). Education in the metaverse: Developing virtual reality teaching materials for K-12 natural science. *Education and Information Technologies*, 30, 8637-8658. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13156-2>
- Zekeik, H., Chahbi, M., Lamarti Sefian, M., & Bakkali, I. (2025). Augmented reality and virtual reality in education: A systematic narrative review on benefits, challenges, and applications. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(9), em2699. <https://doi.org/10.29333/ejmste/16830>
- Zhang, J., Li, G., Huang, Q., Feng, Q., & Luo, H. (2022). Augmented reality in K-12 education: A systematic review and meta-analysis of the literature from 2000 to 2020. *Sustainability*, 14(15), 9725. <https://doi.org/10.3390/su14159725>

Declaración

Declaración	Detalle
Conflicto de intereses	Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.
Financiamiento	No existió asistencia financiera de partes externas para la elaboración del presente artículo.
Agradecimiento	N/A
Nota	El artículo no es producto de una publicación anterior.