

EL IMPACTO DE LAS TIC INMERSIVAS (REALIDAD AUMENTADA, VIRTUAL Y SIMULADORES) EN LA COMPRENSIÓN DE FENÓMENOS NATURALES EN LA EDUCACIÓN PRIMARIA: UNA REVISIÓN DE LITERATURA (2020-2025)

Eyder Milton Coral Guamanga¹

eydermilton2023@gmail.com

ORCID:0009-0004-0830-5172

Institución Educativa

San Vicente

Isnos, Huila Colombia

Mireya Consuelo Pabuenche Hernández²

mireyacpabuencheh@hotmail.com

ORCID: 0009-0000- 0858-2509

Institución Educativa

Nuestra Sra. de la Merced

Mutiscua, Norte de Santander, Colombia

Recibido: 12/01/2026

Revisado: 14/02/2026

Aprobado: 18/03/2026

RESUMEN

La enseñanza de las ciencias naturales en la educación primaria enfrenta el desafío de acercar a los estudiantes a fenómenos que, por su nivel de abstracción o su escala, resultan difíciles de observar directamente. Tecnologías como la realidad aumentada, la realidad virtual y los simuladores digitales son herramientas digitales que permiten visualizar procesos invisibles y recrear experiencias inmersivas, contribuyendo a la motivación y al aprendizaje significativo. Este artículo presenta una revisión bibliográfica de investigaciones publicadas entre 2020 y 2025, con el propósito de analizar cómo las TIC de visualización e inmersión fortalecen la comprensión de fenómenos naturales como la fotosíntesis, el ciclo del agua y los movimientos astronómicos. Se examinan estudios que consideran factores clave como la formación docente, la infraestructura tecnológica y la adaptación curricular. Los hallazgos indican que, cuando se integran dentro de estrategias pedagógicas sólidas, estas herramientas potencian la comprensión conceptual, estimulan la curiosidad científica y promueven actitudes positivas hacia la ciencia en contextos escolares. Asimismo, se identifican desafíos para su adopción efectiva, entre ellos la brecha digital, la formación docente insuficiente, la desigualdad en infraestructura y la necesidad de una alineación curricular cuidadosa. Se formulan recomendaciones para la implementación en educación básica y para futuras investigaciones orientadas a la retención y transferencia del aprendizaje.

Palabras clave: Tecnologías de la información y la comunicación (TIC), ciencias naturales, educación primaria, realidad aumentada, realidad virtual, simuladores digitales.

¹ Estudiante de Doctorado en Educación, UPEL. Docente, Institución Educativa San Vicente de Isnos, Huila, Colombia. Línea de Investigación: Las TIC y la Intermediación Didáctica

² Estudiante de Doctorado en Educación, UPEL. Docente, Institución Educativa Ntra. Sra. de la Merced, Mutiscua, Norte de Santander, Colombia. Línea de Investigación: Las TIC y la Intermediación Didáctica.

THE IMPACT OF IMMERSIVE ICT (AUGMENTED REALITY, VIRTUAL REALITY, AND SIMULATORS) ON THE UNDERSTANDING OF NATURAL PHENOMENA IN PRIMARY EDUCATION: A LITERATURE REVIEW (2020–2025)

ABSTRACT

Teaching natural sciences in primary education faces the challenge of bringing students closer to phenomena that, due to their level of abstraction or scale, are difficult to observe directly. Technologies such as augmented reality, virtual reality, and digital simulators are digital tools that make it possible to visualize invisible processes and recreate immersive experiences, contributing to motivation and meaningful learning. This article presents a literature review of research published between 2020 and 2025, aiming to analyze how visualization and immersion ICTs strengthen the understanding of natural phenomena such as photosynthesis, the water cycle, and astronomical movements. It examines studies that address key factors such as teacher training, technological infrastructure, and curricular adaptation. The findings indicate that, when integrated into solid pedagogical strategies, these tools enhance conceptual understanding, stimulate scientific curiosity, and promote positive attitudes toward science in school contexts. Likewise, the review identifies challenges to their effective adoption, including the digital divide, insufficient teacher training, inequality in infrastructure, and the need for careful curricular alignment. Recommendations are provided for implementation in basic education and for future research focused on learning retention and transfer.

Keywords: Information and Communication Technologies (ICT); Natural Sciences; Primary Education; Augmented Reality; Virtual Reality; Digital Simulators.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las ciencias naturales en la educación primaria se enfrenta a un reto continuado: conseguir que niños y niñas comprendan fenómenos que, por su escala, duración o grado de abstracción, no pueden observar directamente. Contenidos como la fotosíntesis, el ciclo del agua, de la materia, el destino del aire, el movimiento de los astros o el calentamiento del agua se suelen exponer de forma verbal o por imágenes fijas, recursos muy útiles pero que en ocasiones son insuficientes para garantizar una comprensión adecuada y duradera del contenido. En este contexto pueden aparecer aprendizajes fragmentados donde la motivación empieza a decrecer y puede que en la educación primaria se pueda iniciar un temprano distanciamiento de la ciencia.

En este marco, las Tecnologías de la Información y la Comunicación, concretamente las que se ocupan de la visualización y la inmersión, como la realidad aumentada, la realidad virtual, los simuladores digitales..., facilitan redefinir el modo en que el alumnado se aproxima a la naturaleza y construye su saber (Basumatary & Maity, 2023; Rodríguez Caldera, 2021). Su potencial pedagógico radica en poder transformar conceptos abstractos en situaciones más cercanas, manipulables. La ciencia reciente pone de manifiesto que, gracias a las aplicaciones de realidad aumentada, el alumnado manipula objetos, puede observar procesos que no son directamente visibles y

establecer conexiones con conocimientos previos, lo que se asocia con una mayor motivación y aprendizajes más significativos (Antoniadi, 2023; Chen et al., 2025).

Las experiencias de realidad virtual muestran que la inmersión por parte de la tecnología facilita la elaboración de la comprensión conceptual y que, además, promueve actitudes positivas hacia la ciencia y genera curiosidad por conocer el mundo natural más allá de lo que pueden ofrecer las metodologías más tradicionales (Laine et al., 2023; Salgado Reveles, 2023).

La realidad aumentada amplía el mundo físico incorporando capas de información digital, mientras que la realidad virtual sustituye el entorno físico por un escenario completamente simulado, así que esta diferencia permite analizarlas en el transcurso del artículo, pero sin perder de vista el hecho de que comparten pertenencia a la misma familia de herramientas inmersivas de usos educativos parecidos. En adición, los simuladores digitales ponen en práctica la creación de un contexto seguro de exploración de relaciones de causalidad mediante la manipulación de variables y su visualización en tiempo real, reforzando así el razonamiento hipotético y la modelización.

Hay que considerar, no obstante, que la literatura también se hace eco de beneficios constantes, pero igualmente hace hincapié en que su efectividad depende de condiciones de implementación, como la capacitación docente, la infraestructura tecnológica o la alineación curricular; de aquí que se eche en falta una síntesis actualizada que aborde de manera concreta el potencial de la visualización y de la

inmersión para dar respuesta a fenómenos abstractos en la educación primaria, con evidencias publicadas que se ubiquen entre 2020 y 2025. Este artículo quiere responder a esa necesidad mediante una revisión crítica con el propósito de ofrecer una panorámica útil para docentes, investigadores y responsables de política educativa.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una revisión crítica de la literatura publicada entre 2020 y 2025 sobre el papel de la realidad aumentada, la realidad virtual y los simuladores digitales en la enseñanza de fenómenos naturales en la educación primaria, para clarificar su alcance pedagógico y sus condiciones de efectividad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los aportes más relevantes de las investigaciones nacionales e internacionales sobre estas herramientas en educación primaria.
2. Describir cómo se han aplicado a la explicación de fenómenos como la fotosíntesis, la erosión y los movimientos astronómicos.
3. Examinar su impacto en la comprensión conceptual, la motivación y las actitudes hacia la ciencia del alumnado.

4. Señalar retos y oportunidades de implementación relacionados con la formación docente, la infraestructura y la alineación curricular.

METODOLOGÍA

Este estudio adopta un diseño de revisión de literatura con orientación sistemática para asegurar trazabilidad en la identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de la evidencia sobre tecnologías de visualización e inmersión en ciencias naturales en primaria. Se siguen los ítems de reporte recomendados por PRISMA 2020, con la finalidad de documentar de forma clara el flujo de documentos desde su hallazgo hasta la síntesis cualitativa, y de justificar cada decisión de inclusión o exclusión con criterios explícitos y reproducibles. La elección de una síntesis cualitativa responde a la heterogeneidad de diseños, instrumentos y contextos en los estudios recientes, por lo que se privilegia la integración temática y categorial antes que el cálculo de efectos agregados, manteniendo transparencia metodológica y suficiente información para el lector especializado (Page et al., 2021).

ENFOQUE METODOLÓGICO

Se implementó una revisión documental sistematizada inspirada en PRISMA 2020, estructurada en cuatro fases encadenadas: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. La pregunta orientadora se formuló del modo siguiente: en alumnado de educación primaria, qué efectos reporta el uso de realidad aumentada, realidad virtual y simuladores digitales sobre comprensión conceptual, motivación y actitudes hacia la ciencia, y bajo qué condiciones pedagógicas e infraestructurales se observan resultados más consistentes. Esta formulación permitió delimitar población, intervenciones, resultados y contextos, y derivar reglas operativas para la búsqueda y selección de fuentes, junto con un protocolo de extracción con campos estándar para diseño, muestra, tecnología, duración e instrumentos.

La síntesis de hallazgos se realizó mediante análisis temático con categorías deductivas alineadas con los objetivos del estudio y categorías inductivas emergentes a partir de la lectura a texto completo. Se empleó doble lectura para resolver discrepancias y consolidar la codificación final. La estrategia asegura equilibrio entre exhaustividad y calidad, y favorece la identificación de patrones transversales, tensiones y condiciones de éxito que orienten la práctica docente y las decisiones de política educativa. El enfoque preserva la lógica de una revisión sistematizada, pero

evita sobreinterpretar efectos cuando los métodos y medidas no son comparables entre estudios, lo que es congruente con las recomendaciones actuales de reporte transparente en revisiones educativas (Page et al., 2021).

FUENTES DE INFORMACIÓN

La búsqueda cubrió bases de datos con alta visibilidad en educación y ciencias: Scopus, Web of Science, ERIC y SciELO. Se añadió Google Scholar para verificación de citas y rastreo hacia atrás y hacia delante. Se consideraron artículos en español e inglés publicados entre 2020 y 2025 en revistas con revisión por pares y enfocados en educación primaria. Se excluyeron libros, tesis no arbitradas y literatura gris sin arbitraje. Las consultas se adaptaron a la sintaxis de cada base y se aplicaron filtros por etapa educativa, área disciplinar y periodo temporal. Todos los registros se gestionaron en una hoja de cálculo maestra con metadatos, decisión de cribado y razón de exclusión para garantizar consistencia y auditabilidad.

El periodo 2020–2025 obedece a la concentración reciente de desarrollos y reportes K-12 sobre RA, RV y simuladores y permite un panorama actualizado. La selección idiomática respondió a la presencia mayoritaria de producción en inglés y a la relevancia regional del español. La coordinación de resultados en una matriz centralizada facilitó el control de duplicados, la transparencia de decisiones y la preparación del flujo para su reporte posterior conforme a PRISMA 2020. La

trazabilidad documental es clave para valorar la suficiencia de la evidencia y sostener la validez de las inferencias pedagógicas derivadas de la síntesis cualitativa (Page et al., 2021).

ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA

Las consultas combinaron términos en español e inglés sobre etapa educativa, área de conocimiento y tecnologías, con operadores booleanos, truncamientos y filtros por año. Se ejecutaron búsquedas amplias iniciales para sensibilidad y, en una segunda ronda, búsquedas focalizadas por tópico para mejorar especificidad. Cada consulta quedó registrada con fecha, base, cadena usada, filtros y número de resultados, lo que permite replicación futura y reduce el riesgo de omisiones relevantes en el dominio escolar de ciencias con tecnologías inmersivas y de simulación (Page et al., 2021).

Tabla 1. *Estrategias de búsqueda y operadores por base de datos*

Nº	BASE	CONSULTA BOOLEANA Y CAMPOS CLAVE	FILTROS APLICADOS
1	Scopus	("augmented reality" OR "realidad aumentada") AND ("primary education" OR "elementary school" OR "educación primaria") AND ("science" OR "natural sciences")	2020–2025; artículo; inglés o español
2	Scopus	("virtual reality" OR "realidad virtual") AND	2020–2025;

		(primary OR elementary) AND (learning OR achievement OR motivation)	Education; peer-reviewed
3	Web of Science	TS=("digital simulation*" OR simulador*) AND TS=("science education" OR "ciencias naturales") AND TS=(primary OR elementary)	2020–2025; article; Education Educational Research
4	ERIC	("augmented reality" AND elementary) AND (science OR "natural phenomena")	2020–2025; peer reviewed; journal articles
5	SciELO	("realidad aumentada" OR "realidad virtual" OR simuladores) AND ("educación primaria" AND "ciencias naturales")	2020–2025; artículos; español
6	Google Scholar	allintitle:"virtual reality" elementary science OR "PhET" primary	2020–2025; excluir citas y patentes

Nota. Elaboración propia

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Los criterios se definieron antes del cribado y guiaron título, resumen y lectura completa. Se consideraron elegibles estudios empíricos o revisiones con intervención o experiencia de RA, RV o simuladores en primaria que reportaran resultados de aprendizaje, motivación o actitudes en ciencias naturales. Se excluyeron documentos fuera del rango temporal o idiomático, sin revisión por pares, centrados en secundaria o superior, en otras áreas disciplinarias o en tecnologías no inmersivas ni de simulación. La aplicación temprana de filtros por etapa y área disminuyó falsos positivos y ahorró esfuerzo de elegibilidad, manteniendo sensibilidad para captar diversidad de diseños recientes.

Tabla 2. *Criterios de inclusión y exclusión*

INCLUSIÓN	EXCLUSIÓN
Artículos publicados entre 2020 y 2025.	Estudios publicados antes de 2020 o después de 2025.
Escritos en español o inglés.	Documentos en otros idiomas.
Publicados en revistas con revisión por pares.	Sin revisión por pares o procedentes de conferencias no indexadas.
Población de educación primaria escolarizada.	Estudios centrados en secundaria, bachillerato o educación superior.
Ámbito de ciencias naturales o asignaturas equivalentes.	Investigaciones en otras áreas disciplinares (matemáticas, lengua, arte, etc.).
Intervenciones que utilicen realidad aumentada, realidad virtual o simuladores digitales.	Experiencias con tecnologías no inmersivas (videos, plataformas LMS, presentaciones, etc.).
Reporte explícito de resultados de aprendizaje, motivación o actitudes científicas.	Falta de resultados educativos medibles.
Disponibilidad de texto completo y acceso a los datos principales.	Ausencia de texto completo o resúmenes incompletos.
Estudios empíricos o revisiones con diseño claramente descrito.	Literatura gris, tesis no arbitradas o informes institucionales sin control metodológico.

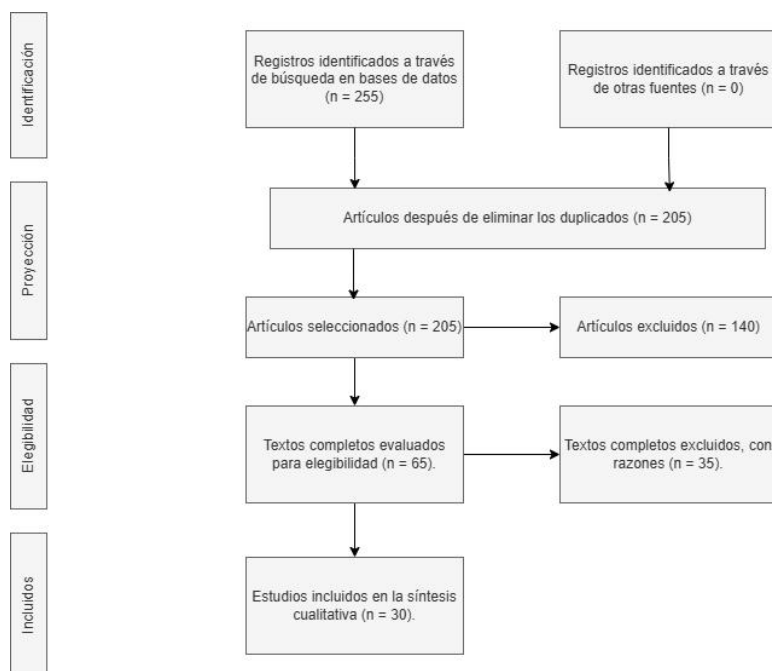
El conjunto de reglas de la tabla prioriza pertinencia didáctica y actualidad, con foco explícito en primaria y en resultados educativos medibles. La especificación de tecnologías inmersivas y de simulación impide incorporar TIC generales que diluyen

conclusiones. La exigencia de texto completo y arbitraje reduce sesgo por información incompleta y mejora la comparabilidad. La ventana de cinco años ofrece equilibrio entre novedad y masa crítica para detectar patrones robustos y tensiones emergentes.

PROCESO DE SELECCIÓN Y ANÁLISIS

El proceso siguió cuatro etapas consecutivas. Primero, identificación de 255 registros en bases de datos y 0 en otras fuentes. Segundo, eliminación de duplicados y cribado por título y resumen, que dejó 205 artículos seleccionados y 140 excluidos por no cumplir criterios. Tercero, evaluación de elegibilidad de 65 textos a texto completo con exclusión de 35 por razones especificadas. Cuarto, inclusión final de 30 estudios en la síntesis cualitativa. El diagrama PRISMA adjunto debe insertarse aquí como Figura 1 para documentar este flujo con transparencia y coherencia con los estándares de reporte en revisiones sistemáticas educativas (Page et al., 2021).

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección



La progresión del diagrama evidencia un cribado exigente y un control adecuado de duplicidades. El salto de 205 a 65 sugiere que los criterios por etapa educativa, área y tipo de tecnología filtraron trabajos inicialmente pertinentes por términos, pero ajenos al foco real. La exclusión de 35 textos completos obedece a carencias de resultados educativos o desajustes de nivel y confirma la necesidad de reglas estrictas para sostener validez interna de la síntesis. El corpus final de 30 estudios ofrece tamaño suficiente para identificar patrones transversales y matices contextuales sin sacrificar profundidad cualitativa.

LIMITACIONES

Primero, la heterogeneidad en diseños, instrumentos y duraciones impidió realizar metaanálisis y llevó a una síntesis cualitativa. Esta decisión limita la estimación puntual de tamaños de efecto, aunque permite capturar condiciones pedagógicas, mediación docente, equidad de acceso y otros aspectos contextuales que suelen quedar fuera de análisis cuantitativos agregados. La lectura atenta de métodos e instrumentos se usó para matizar inferencias y evitar sobre generalizaciones a contextos distintos.

Segundo, se restringieron los idiomas a español e inglés y el periodo a 2020–2025. Esta acotación mejora comparabilidad y pertinencia temporal, pero puede introducir sesgo de publicación, ya que la literatura gris y documentos en otros idiomas podrían contener implementaciones relevantes no capturadas por bases indexadas. Se intentó mitigar esta limitación con rastreo de citas y verificación en Google Scholar, manteniendo la prioridad por arbitraje y texto completo.

Tercero, aunque se siguieron los ítems PRISMA para reporte transparente, no se aplicó una herramienta formal de evaluación de riesgo de sesgo por tipo de diseño debido a la mezcla de estudios. Trabajos futuros pueden incorporar instrumentos estandarizados de calidad metodológica para intervenciones educativas y análisis de sensibilidad por robustez, con el fin de ponderar hallazgos y otorgar gradaciones de confianza a las conclusiones que emergen de la síntesis cualitativa presentada en este artículo (Page et al., 2021).

REALIDAD AUMENTADA COMO RECURSO DIDÁCTICO EN PRIMARIA

La realidad aumentada (RA) es una herramienta pedagógica que superpone información digital 2D/3D sobre el entorno físico mediante dispositivos móviles o gafas, lo que permite a los niños observar procesos no accesibles directamente y manipular representaciones de fenómenos abstractos. En contextos donde comprender la fotosíntesis, las partes de una planta o el ciclo del agua exige altos niveles de abstracción, la RA actúa como puente cognitivo que convierte esos contenidos en experiencias tangibles y explorables.

La evidencia reciente muestra que, cuando se integran actividades interactivas de RA en el aula, aumentan la motivación y mejoran indicadores de rendimiento, al enriquecer la enseñanza convencional con visualización y exploración guiada (AlNajdi, 2022). No obstante, los resultados no son uniformes en el corto plazo, lo cual es formativamente relevante. Antoniadi (2023), en un estudio con alumnado de primer grado que usó una app de RA para identificar partes de una planta, no halló diferencias significativas en pruebas de conocimiento respecto de un grupo con metodología tradicional, pero sí registró mayor motivación y actitudes más positivas hacia el aprendizaje en el grupo con RA. Este patrón sugiere que el impacto inicial de la RA puede manifestarse con más fuerza en el dominio afectivo y en el compromiso,

sirviendo como catalizador para que, con exposición sostenida y buen diseño instruccional, emerjan ganancias cognitivas más estables.

Más allá de la botánica, la RA acredita utilidad en otras áreas de las ciencias naturales. Lo et al. (2021) documentan que, al integrar indagación científica con RA en primaria, el alumnado comprendió mejores procesos vinculados a la sostenibilidad y mostró mayor disposición a la indagación y al aprendizaje autónomo. Además, su impacto no se limita a conceptos estáticos. En acústica, Cai et al. (2022) reportan que la herramienta The Magic Sound promovió comprensiones más profundas de fenómenos sonoros y concepciones más complejas sobre aprender ciencias. Finalmente, en una escala mayor, AlNajdi (2022) evaluó la integración de códigos QR con experiencias de RA en libros de texto del sistema escolar saudí y encontró notas significativamente superiores frente al uso exclusivo de materiales impresos. Este resultado ilustra la flexibilidad y escalabilidad de la RA, que puede democratizarse mediante recursos de bajo costo siempre que haya alineación curricular y orientación docente adecuadas.

En conjunto, la RA no es un simple accesorio, sino un recurso didáctico que profundiza la práctica y articula lo cognitivo con lo motivacional. Sus fortalezas emergen cuando se diseña con tareas auténticas, andamiaje docente y evaluaciones alineadas; sus límites aparecen si se usa de modo esporádico, sin tiempos de práctica ni criterios claros de evaluación. Transición hacia RV. Mientras la RA enriquece la realidad con capas digitales, la realidad virtual (RV) sustituye el entorno por uno simulado, lo que

conlleva niveles de inmersión y carga cognitiva distintos. Esta diferencia justifica un análisis específico de la RV como segunda cara de las TIC de visualización e inmersión.

La integración de actividades de RA resulta especialmente eficaz cuando se inserta en secuencias con indagación guiada, tareas auténticas y evaluación coherente con los objetivos de aprendizaje. La coherencia con el currículo, la orientación docente explícita, tiempos de práctica suficientes y criterios claros de desempeño favorecen que la motivación inicial se convierta en aprendizaje verificable y transferible. La preparación técnica básica y la selección de recursos con buena usabilidad reducen barreras instrumentales y permiten concentrar la atención en la explicación causal y la modelización.

También es necesario anticipar limitaciones frecuentes. El efecto novedad puede inflar la motivación a corto plazo si la RA se usa de manera episódica o desconectada de metas curriculares. Puede producirse sobrecarga cognitiva cuando se presentan demasiados elementos visuales, cuando la actividad carece de andamiaje o cuando no se reserva tiempo breve para verbalizar procesos y consolidar explicaciones. En contextos de conectividad limitada conviene planear experiencias mixtas con versiones offline, códigos QR preparados de antemano y alternancia con materiales impresos, de modo que la infraestructura no condicione la profundidad del trabajo conceptual.

La lectura conjunta de los estudios citados permite reconocer patrones transversales. Primero, la RA suele impactar tempranamente en el dominio afectivo y en el compromiso, y los efectos cognitivos se observan con mayor claridad cuando

existe continuidad entre sesiones y una evaluación que solicite explicación causal. Segundo, las mejoras en rendimiento son más consistentes cuando la RA se utiliza para visualizar relaciones causa y efecto y apoyar la construcción de modelos explicativos, en lugar de añadir elementos decorativos a contenidos ya conocidos. Tercero, la escalabilidad es factible mediante recursos de bajo costo, como códigos QR y aplicaciones ligeras, siempre que la formación docente priorice la integración pedagógica por encima del manejo técnico aislado. En conjunto, la trayectoria que se desprende de Antoniadi (2023), Lo et al. (2021), Cai et al. (2022) y AlNajdi (2022) sugiere un recorrido que inicia con curiosidad y sensación de presencia, continúa con explicaciones más precisas y culmina en desempeños superiores cuando el uso se sostiene en el tiempo con diseño instruccional coherente.

Desde una perspectiva práctica, es recomendable iniciar con una pregunta problema vinculada al fenómeno de estudio y con una predicción breve del alumnado para activar ideas previas y orientar la observación. Durante la exploración conviene limitar la cantidad de elementos superpuestos y emplear etiquetas cortas y legibles que guíen la atención hacia relaciones y no solo hacia objetos. Para cerrar, puede aplicarse una rúbrica simple centrada en la calidad de la explicación, seguida de un pos-test breve de transferencia y una síntesis colectiva que conecte lo observado en RA con el fenómeno real y con el lenguaje científico escolar. Una secuencia breve lo ilustra: en una unidad sobre partes de la planta, se formula la pregunta acerca de cómo cada parte contribuye a la supervivencia y se recoge una predicción; con RA, el alumnado

manipula modelos superpuestos para observar funciones y relaciones mientras el docente plantea preguntas orientadas a la causalidad; luego se redacta una respuesta argumentada con vocabulario preciso y se aplica un pos-test que cambia el contexto manteniendo el principio subyacente; finalmente, una puesta en común integra lo observado con ejemplos del entorno cercano y con futuras tareas de indagación. De esta manera, la RA deja de ser un recurso llamativo y se convierte en un medio que ancla la comprensión conceptual y favorece la transferencia, a la vez que prepara el terreno para articularse con experiencias de realidad virtual y con simuladores orientados a la experimentación con variables.

REALIDAD VIRTUAL Y EXPERIENCIAS INMERSIVAS

A diferencia de la RA, la realidad virtual introduce al estudiantado en entornos completamente simulados donde puede explorar fenómenos complejos con altos niveles de presencia e interactividad. Antes de atender a casos concretos, conviene situar la evidencia de síntesis que respalda su utilidad educativa: un metaanálisis reporta efectos globalmente positivos en aprendizaje y motivación en educación básica, y otro confirma un efecto moderado y significativo en habilidades prácticas en ciencias, lo que ofrece un marco estadístico que valida los hallazgos de estudios de caso (Villena-Taranilla et al., 2022; Yang et al., 2024).

Sobre esa base, hallazgos recientes muestran que la RV no solo capta la atención, sino que se asocia con aprendizajes más robustos. En cuarto grado, la app Science Ciaste se vinculó con incrementos significativos en motivación y rendimiento al trabajar contenidos sobre la corteza terrestre y movimientos planetarios (Özer y Şimşek, 2025). En Latinoamérica, talleres con contenidos de biología, geología y astronomía evidenciaron mayor predisposición hacia la ciencia y más interés por la indagación tras la experiencia inmersiva (Salgado Reveles, 2023). En educación ambiental, el estudiantado reportó alta sensación de presencia y placer por aprender, asociadas a una mejor comprensión de procesos ecológicos previamente abstractos (Laine et al., 2023). De modo complementario, un sistema RV360 permitió visitas a ecosistemas virtuales e interacción con prácticas culturales indígenas, fortaleciendo la comprensión conceptual y valores como el respeto y la responsabilidad ambiental, lo que articula dimensiones cognitivas y actitudinales en primaria (Tarnng et al., 2024).

Estas experiencias se entienden mejor si se considera que la RV sustituye el entorno físico por uno simulado. La sensación de presencia y el control del foco atencional suelen ser más intensos que en RA, lo que habilita representaciones a gran escala, como viajes astronómicos o inmersiones en ecosistemas frágiles. Esta potencia requiere gestionar la carga cognitiva mediante orientaciones previas breves, objetivos claros, consignas explícitas y segmentos de trabajo de duración moderada, de modo que la inmersión conduzca a explicación causal y no solo a asombro.

La evidencia de síntesis respalda efectos positivos, aunque estos pueden diluirse si la experiencia prioriza la espectacularidad por encima de las tareas cognitivas. Los resultados son más sólidos cuando la RV se inserta en un ciclo completo que active ideas previas, plantee una misión con criterios observables, promueva la recolección de evidencias durante la exploración y cierre con metarreflexión guiada. En términos operativos, conviene prever rotaciones de equipo, pausas breves y protocolos de bienestar para minimizar mareos y fatiga, así como rúbricas que pidan justificar con evidencias lo observado en el entorno virtual (Villena-Taranilla et al., 2022; Yang et al., 2024).

Al integrar los estudios, emergen patrones y tensiones coherentes con la teoría del aprendizaje multimodal. La RV resulta particularmente efectiva para fenómenos a gran escala como la astronomía, para contextos riesgosos o frágiles donde la observación directa sería inviable y para procesos dinámicos que se benefician de la manipulación segura en un entorno controlado. Las ganancias en comprensión aumentan cuando se solicita explicación causal y comparación entre escenarios dentro del entorno virtual, mientras que el riesgo principal es que la novedad tecnológica opaque el objetivo curricular si falta andamiaje docente o si la tarea no exige producción conceptual. Persisten retos relacionados con acceso tecnológico, formación pedagógica específica y diseño instruccional que module la carga cognitiva y garantice alineación con el currículo.

Desde una perspectiva práctica, es aconsejable iniciar con un tutorial de navegación de uno o dos minutos, seguido de una misión sencilla que especifique qué observar y por qué ocurre. Durante la actividad, las bitácoras de campo virtual ayudan a anotar observaciones, evidencias y explicaciones tentativas. El cierre puede incluir un diagrama o modelo explicativo que traduzca la experiencia inmersiva al lenguaje científico escolar y un breve instrumento de transferencia que cambie el contexto conservando el principio subyacente. Así, la inmersión se convierte en comprensión y la presencia en evidencia.

En síntesis, el conjunto de estudios y los metaanálisis apuntan a un potencial transformador de la RV en la enseñanza de fenómenos naturales en primaria. Su valor es mayor cuando se integra en secuencias con metas explícitas, tareas que exigen razón causal, evaluación alineada y tiempos de práctica suficientes, y cuando se atienden las condiciones de infraestructura y formación docente. En combinación con la RA, la RV cubre necesidades de visualización multiescala y prepara el terreno para sumar la tercera pieza del conjunto: los simuladores digitales, orientados a experimentar con variables y a responder preguntas de tipo qué pasaría si, favoreciendo el razonamiento hipotético y la modelización.

SIMULADORES DIGITALES EN PRIMARIA

Los simuladores digitales recrean sistemas y procesos y permiten manipular variables en entornos controlados con retroalimentación inmediata, lo que vuelve accesible la exploración de relaciones causa y efecto para el alumnado de primaria. En ciencias naturales resultan especialmente útiles para construir modelos mentales y ejercitar el razonamiento hipotético en fenómenos que rara vez pueden observarse de forma directa o que exigen múltiples ensayos breves para reconocer patrones. Plataformas como PhET Interactive Simulations se integran con facilidad en secuencias didácticas basadas en indagación, siempre que la interacción esté guiada por preguntas claras y criterios de desempeño observables.

Cuando el docente alinea cada simulación con objetivos específicos y solicita explicaciones sustentadas en evidencias, la actividad deja de ser curiosidad tecnológica para convertirse en una vía de explicación causal y transferencia. La investigación reciente en educación básica muestra incrementos de participación y mejoras en comprensión conceptual cuando se comparan escenarios, se registran observaciones y se justifican conclusiones a partir de la manipulación de variables, con efectos más estables si se modula la carga cognitiva y se secuencia la dificultad de las tareas (Diab et al., 2024; Rayan et al., 2023).

Tabla 1. *Aplicaciones de simuladores en primaria: variables, evidencias y evaluación*

FENÓMENO EN CIENCIAS NATURALES	VARIABLES MANIPULABLES	EVIDENCIAS A OBSERVAR	PRODUCTO EVALUABLE Y CRITERIO PRINCIPAL
Fotosíntesis y factores ambientales	Intensidad de luz, CO ₂ , agua	Cambios en tasa de producción simulada y curvas tiempo-respuesta	Explicación causal que conecte variable y efecto con un esquema etiquetado
Ciclo del agua	Temperatura, humedad, viento	Transiciones entre evaporación, condensación y precipitación y umbrales de cambio	Modelo del ciclo con justificación de cada fase y condición necesaria
Cambios de estado	Temperatura, presión, material	Mesetas de calentamiento y puntos de fusión y ebullición	Gráfico interpretado con identificación de secciones y energía involucrada
Flujos de energía	Intensidad de fuente, aislamiento	Gradientes y equilibrio en transferencias de calor	Comparación de dos escenarios con argumento basado en datos registrados
Óptica escolar	Ángulo de incidencia, índice	Trayectorias con reflexión y refracción en límites de medios	Diagrama de rayos con explicación de variación de trayectoria
Acústica básica	Frecuencia, longitud, tensión	Patrón de nodos y antinodos y variación de tono	Predicción y verificación del tono con explicación del patrón
Astronomía escolar	Inclinación del eje, rotación, distancia al Sol	Duración del día y ángulo solar en estaciones	Relato de estaciones con referencia a parámetros ajustados y evidencias locales

La tabla 1 organiza usos típicos donde la simulación aporta un andamiaje claro para observar regularidades y justificar por qué ocurren. En fotosíntesis, por ejemplo,

variar la intensidad lumínica o el dióxido de carbono permite relacionar factores con producción y discutir límites del modelo frente a plantas reales; el criterio de evaluación pide una explicación causal apoyada en un esquema, lo que evita respuestas meramente descriptivas. En el ciclo del agua, ajustar temperatura y humedad ayuda a explicar transiciones de fase y a contrastar resultados con evidencias locales, con un producto que exige justificar condiciones necesarias y suficientes. Los casos de óptica y acústica muestran cómo las trayectorias y los patrones vibratorios se vuelven visibles y medibles, de modo que el alumnado produce diagramas, predicciones y verificaciones, en lugar de memorizar reglas aisladas. El valor de la tabla reside en traducir la manipulación a indicadores observables y a productos que privilegian causalidad y transferencia, requisito para que la mejora conceptual sea verificable en contextos nuevos.

Una condición recurrente de efectividad es seguir un ciclo didáctico en cuatro pasos que conecte hipótesis, generación de datos, transferencia y reflexión sobre los límites del modelo. Primero se formulan hipótesis antes de manipular para orientar la atención y acotar la búsqueda de evidencias. Luego se registra información en tablas claras que reduzcan carga extrínseca y faciliten la identificación de patrones. Después se plantean tareas de transferencia que lleven el principio a un contexto distinto sin cambiar su estructura causal. Por último, se realiza una reflexión que explicita aquello que el modelo no representa y las consecuencias de esa omisión para la explicación y la toma de decisiones. Este ciclo se potencia cuando se articula con RA para anclar

perceptualmente el fenómeno y con RV para situarlo a escala, siempre con evaluación alineada y consignas de explicación que exijan razones y no solo resultados numéricos (Diab et al., 2024; Rayan et al., 2023).

Tabla 2. *Secuencia integrada con RA, simulación y RV: objetivos, acciones e instrumentos*

FASE DE LA SECUENCIA	OBJETIVO PEDAGÓGICO	ACCIONES DEL AULA	INSTRUMENTOS Y EVALUACIÓN
Anclaje con RA	Activar ideas previas y situar el fenómeno	Formular pregunta problema, observar relaciones en el entorno	Guion breve de observación y lista de cotejo de conceptos
Hipótesis antes de simular	Orientar la manipulación y anticipar resultados	Redactar predicciones y elegir variables de control	Plantilla de hipótesis con criterio de claridad y pertinencia
Exploración con simulador	Generar datos y contrastar hipótesis	Manipular una variable a la vez y comparar escenarios	Tabla de datos y gráfico con interpretación mínima requerida
Análisis y explicación	Construir modelo causal y justificar	Explicar por qué ocurre con referencia a evidencias	Rúbrica centrada en causalidad y precisión conceptual
Transferencia	Aplicar el principio en nuevo contexto	Resolver un caso análogo que conserva la estructura	Ítem de transferencia con retroalimentación formativa
Escala con RV	Integrar el principio en sistema mayor	Explorar entorno a gran escala y validar el modelo	Bitácora de campo virtual y diagrama integrador final
Cierre reflexivo	Consolidar y planificar mejora	Revisar supuestos, sesgos y próximos pasos	Autoevaluación y ajuste didáctico para la siguiente sesión

La tabla 2 detalla una secuencia que evita el uso episódico de la tecnología y la convierte en un medio para razonar con evidencias. El anclaje con RA sitúa el fenómeno en el entorno y activa conocimientos previos, lo que reduce la distancia entre representación y realidad. Las hipótesis previas a la simulación dirigen la manipulación y previenen exploraciones erráticas; el registro de datos y la comparación de escenarios obligan a justificar con información generada por el propio alumnado. La fase de análisis establece la exigencia de explicación causal y el criterio de precisión conceptual, mientras que la transferencia asegura que el conocimiento no quede confinado al simulador. Al llevar el principio a escala con RV se integran múltiples variables en un contexto complejo y se valida el modelo en una situación cercana a la realidad, para cerrar con una reflexión que identifica supuestos y mejora la secuencia. Esta arquitectura sostiene aprendizajes más estables que la mera exposición y permite documentar progreso con instrumentos ajustados a los objetivos, lo que es consistente con los efectos reportados en implementaciones reales.

Aun con sus ventajas, la simulación no debe reemplazar la experiencia empírica ni convertirse en un fin en sí mismo, dado que los modelos simplifican la realidad y pueden inducir falsas certezas si no se explicitan supuestos y rangos de validez. Es conveniente alternar la actividad virtual con observaciones escolares o domésticas que permitan confrontar el modelo con situaciones reales, por ejemplo mediciones de temperatura, luz o humedad, y discutir discrepancias de manera formativa. En contextos de baja conectividad se recomienda usar versiones offline, preparar capturas

impresas para el análisis y mantener planillas en papel para registrar datos, asegurando continuidad didáctica sin depender por completo de la infraestructura. Con RA, RV y simuladores claramente perfilados, la sección de Discusión podrá analizar patrones compartidos, condiciones para el éxito y vacíos de evidencia que orientan decisiones pedagógicas y de política, con especial atención a equidad de acceso, formación pedagógica específica y evaluación de mediano plazo.

REFERENCIAS

- AlNajdi, S. M. (2022). The effectiveness of using augmented reality to enhance student performance: Using quick response codes in student textbooks in the Saudi education system. *Educational Technology Research and Development*, 70, 1105–1124. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10100-4>
- Antoniadi, G. (2023). Using an augmented reality application for teaching plant parts: A case study in 1st-grade primary school students. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 3(1), 630–637. <https://doi.org/10.25082/AMLER2023.01.012>
- Basumatary, D., & Maity, R. (2023). Effects of augmented reality in primary education: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2023, 4695759. <https://doi.org/10.1155/2023/4695759>
- Cai, S., Jiao, X., Li, J., Jin, P., Zhou, H., & Wang, T. (2022). *Conceptions of learning science among elementary school students in AR learning environment: A case study of “The Magic Sound”*. *Sustainability*, 14(11), 6783. <https://doi.org/10.3390/su14116783>
- Cao, S., Zhou, B., Zhang, Y., & Ding, C. (2024). The effectiveness of virtual reality environment on students’ STEM learning and spatial skills across education levels. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2371565>
- Chen, C.-H. (2020). Impacts of augmented reality and a digital game on students’ science learning with reflection prompts in multimedia learning. *Educational Technology Research and Development*, 68(6), 3057–3076. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09834-w>
- Chen, G., Wang, H., Liang, A., Oubibi, M., & Zhou, Y. (2025). From detached observer to immersive participant: An augmented reality-based experiential learning approach to promote academic performance and learning behaviors in science education. *Computers in Human Behavior Reports*, 12, 100756. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100756>
- Chen, S.-Y., Lin, P.-H., Lai, Y.-H., & Liu, C.-J. (2024). Enhancing education on aurora astronomy and climate science awareness through augmented reality technology and mobile learning. *Sustainability*, 16(13), 5465. <https://doi.org/10.3390/su16135465>
- Chen, Y.-C., Su, Y.-N., Wu, T.-T., & Huang, Y.-M. (2022). Creative situated augmented reality learning for astronomy in elementary school. *Journal of Educational Technology & Society*, 25(2), 148–162. [https://doi.org/10.30191/ETS.202204_25\(2\).0011](https://doi.org/10.30191/ETS.202204_25(2).0011)
- Diab, H., Daher, W., Rayan, B., Issa, N., & Rayan, A. (2024). Transforming science education in elementary schools: The power of PhET simulations in enhancing

- student learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(11), 105. <https://doi.org/10.3390/mti8110105>
- Fearn, T., Vallejos, M., & Farrer, C. (2023). Small changes yield big results in primary science: Perceptions around the use of augmented reality. *Journal of Technology and Science Education*, 13(3).
- Guaña-Narváez, C. L., Barahona-Ibarra, A. E., Pozo-Zapata, R. F., & Oña-Guilcaso, N. J. (2024). El uso de realidad aumentada en la didáctica de las ciencias naturales. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 4(Especial Educación), 32–38. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v4iespecial.238>
- Hidayat, R., Datsula, M., & Nuraida, I. (2021). The application of augmented reality in elementary school science teaching: A literature review. *Research, Society and Development*, 10(14).
- Huang, H.-M., Tai, W.-S., Huang, T.-C., & Lo, C.-Y. (2025). Optimizing inquiry-based science education: Verifying the learning effectiveness of augmented reality and concept mapping in elementary school. *Universal Access in the Information Society*, 24, 681–694. <https://doi.org/10.1007/s10209-024-01037-6>
- Kersting, M., Lübcke, P., Risch, B., & Klein, P. (2024). Virtual reality in astronomy education: Reflecting on design considerations. *Education Sciences*, 14(2), 157–176.
- Ladykova, T. I., Bigozhin, B., & Dolgoplova, V. I. (2024). Augmented reality technologies in environmental education: Systematic review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(8), em2488.
- Laine, J., Korhonen, T., & Hakkarainen, K. (2023). Primary school students' experiences of immersive virtual reality use in the classroom. *Cogent Education*, 10(1), 2196896. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2196896> tandfonline.com
- Lampropoulos, G. (2024). Teaching and learning natural sciences using augmented reality in preschool and primary education: A literature review. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, 4(1), 1019–1037. <https://doi.org/10.25082/AMLER.2024.01.013>
- Lara-Álvarez, C. A., Parra-González, E. F., Ortiz-Esparza, M. A., & Cardona-Reyes, H. (2023). Effectiveness of virtual reality in elementary school: A meta-analysis of controlled studies. *Contemporary Educational Technology*, 15(4), ep459. <https://doi.org/10.30935/cedtech/13569>
- Lo, J.-H., Lai, Y.-F., & Hsu, T.-L. (2021). The study of AR-based learning for natural science inquiry activities in Taiwan's elementary school from the perspective of sustainable development. *Sustainability*, 13(11), 6283. <https://doi.org/10.3390/su13116283>
- Mansour, N., Aras, C., Kleine Staarman, J., & Alotaibi, S. B. M. (2025). Embodied learning of science concepts through augmented reality technology. *Education*

- and Information Technologies*, 30, 8245–8275. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13120-0>
- Maričić, M., & Sliško, J. (2024). Using instructive simulations to teach young students simple science concepts: Evidence from electricity content. *Journal of Research on Technology in Education*, 56(6).
- Marín, V. I., Vidal, E., Peirats, J., & Mínguez, A. (2022). Primary education and augmented reality: Another way to teach and learn. *Cogent Education*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2022.2082082>
- Maryani, I., Utari, S., Suhendar, Y., & Astuti, R. (2024). A scientometric analysis of virtual reality in elementary education. *Electronic Journal of e-Learning*, 22(1).
- Poveda-Mora, M., & Lara, F. F. (2024). Engaging young minds in natural sciences through virtual environments. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(8).
- Premthaisong, S., & Srisawasdi, N. (2024). An effect of technology-infused active inquiry learning in primary school science on students' conceptions of learning science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(6), em2463. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14662>
- Putra, M. A., Madlazim, & Hariyono, E. (2024). Exploring augmented reality-based learning media implementation in solar system materials. *International Journal of Recent Educational Research*, 5(1), 56–65. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v5i1.440>
- Rayan, B., Daher, W., Diab, H., & Issa, N. (2023). Integrating PhET simulations into elementary science education: A qualitative analysis. *Education Sciences*, 13(9), 884. <https://doi.org/10.3390/educsci13090884>
- Rayan, B., Daher, W., Issa, N., Diab, H., & Rayan, A. (2023). Integrating PhET simulations into elementary science education: A qualitative analysis. *Education Sciences*, 13(9), 884. <https://doi.org/10.3390/educsci13090884>
- Rodríguez Caldera, B. (2021). Realidad aumentada en educación primaria: Revisión sistemática. *Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (77), 169–185. <https://doi.org/10.21556/edutec.2021.77.1703>
- Salgado Reveles, M. A. (2023). Los efectos de la realidad virtual y la realidad aumentada en las actitudes hacia la ciencia en alumnos mexicanos de nivel primaria. *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad*, 13(25), e804. <https://doi.org/10.32870/pk.a13n25.804>
- Schnyder, S., Corrigan, E., Pozzebon, M., & Roshier, A. (2025). Are primary schools ready for immersive virtual reality. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12.
- Tarng, W., Hsu, Y.-S., & Ou, K.-L. (2024). Development of a VR360 ecological system for learning indigenous cultures and environmental conservation in elementary schools. *Applied Sciences*, 14(22), 10582. <https://doi.org/10.3390/app142210582>

- Urhan, O., & Akpınar, E. (2024). The views of students regarding the use of virtual reality applications in elementary science classes. *Science Insights Education Frontiers*, 21(1), 3329–3348. <https://doi.org/10.15354/sief.24.or550>
- Villena-Taranilla, R., Tirado-Olivares, S., Cózar-Gutiérrez, R., & González-Calero, J. A. (2022). *Effects of virtual reality on learning outcomes in K-6 education: A meta-analysis*. *Educational Research Review*, 35, 100434. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100434>
- Volioti, C., Keramopoulos, E., Sapounidis, T., Melisidis, K., Zafeiropoulou, M., Sotiriou, C., & Spiridis, V. (2022). Using augmented reality in K-12 education: An indicative platform for teaching physics. *Information*, 13(7), 336. <https://doi.org/10.3390/info13070336>
- Wen, Y., Looi, C.-K., Song, Y., Koh, E.-C., & Tan, K.-H. K. (2023). Integrating augmented reality into inquiry-based learning in formal science learning contexts: A literature review. *Educational Technology Research and Development*, 71, 4877–4910. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10258-0>
- Yang, C., Zhang, J., Hu, Y., Yang, X., Chen, M., Shan, M., & Li, L. (2024). The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00487-2>
- Zafeiropoulou, M., Volioti, C., Keramopoulos, E., & Sapounidis, T. (2021). Developing physics experiments using augmented reality game-based learning approach: A pilot study in primary school. *Computers*, 10(10), 126. <https://doi.org/10.3390/computers10100126>
- Zhang, S., & Yao, Z. (2025). The challenge of the application of augmented reality in science education in China: A systematic review. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 7(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s43031-025-00123-1>
- Önal, N., & Önal, H. (2021). The effect of augmented reality on gifted students' astronomy achievement in a 5E learning model. *Education and Information Technologies*, 26(4), 4573–4599.
- Özer, F., & Şimşek, İ. (2025). The Science Coaster: A virtual reality journey in science education. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 17(4), 611–627. <https://iejee.com/index.php/IEJEE/article/view/2537>