

REVISIÓN SISTEMÁTICA SOBRE APRENDIZAJE COLABORATIVO MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL, REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD MIXTA

Systematic Review about Collaborative Learning in Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality

Joel Manuel PRIETO ANDREU
Universidad Internacional de La Rioja. España.
joelmanuel.prieto@unir.net
<https://orcid.org/0000-0002-2981-0782>

Fecha de recepción: 26/03/2024
Fecha de aceptación: 16/05/2024
Fecha de publicación en línea: 01/01/2025

Cómo citar este artículo / How to cite this article: Prieto Andreu, J. M. (2025). Revisión sistemática sobre aprendizaje colaborativo mediante realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta [Systematic Review about Collaborative Learning in Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality]. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 37(1), 151-186. <https://doi.org/10.14201/teri.31921>

RESUMEN

La integración de la realidad aumentada (RA), la realidad virtual (RV) y la realidad mixta (RM) en la educación es muy prometedora para el avance de modelos de enseñanza y aprendizaje que satisfagan las necesidades de los estudiantes del siglo XXI. El aprendizaje basado en RA y RV ofrecen eficacia y total inmersión, mientras la RM fusiona el mundo real con el virtual para tener experiencias superpuestas. Sin embargo, son escasos los estudios que examinen los factores pedagógicos y los beneficios potenciales del aprendizaje colaborativo en estos entornos. Este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura para explorar

el impacto de las experiencias colaborativas facilitadas por AR, VR y MR. Para la selección de estudios se ha elaborado la revisión sistemática rápida siguiendo los protocolos de la declaración PRISMA 2020. En esta revisión, se analizaron 62 estudios centrados en el aprendizaje colaborativo a través de AR, VR o MR, comprendiendo 7 revisiones teóricas, 21 estudios experimentales y 34 estudios observacionales. Se han seguido los criterios expuestos en la Guía para la Evaluación de Criterios de Calidad del Instituto Nacional del Corazón, los Pulmones y la Sangre (NHLBI, 2020). Las limitaciones técnicas y la falta de diseño instruccional obstaculizan la usabilidad de la realidad virtual y la realidad aumentada en la educación. Se sugieren sesiones del mundo real y una interacción adecuada para monitorear y manipular contenido virtual. La integración de tecnologías de RM en la educación superior puede mejorar la práctica educativa, pero persisten desafíos. Se necesitan más investigaciones para evaluar su eficacia en el aprendizaje colaborativo. Al comprender los desafíos y oportunidades que presentan estas tecnologías en la enseñanza de materias científicas, los formuladores de políticas y los educadores pueden desarrollar estrategias efectivas para aprovechar las tendencias actuales y fomentar un cambio educativo significativo.

Palabras clave: realidad aumentada; realidad virtual; realidad mixta; colaboración; educación; aprendizaje.

ABSTRACT

The integration of augmented reality (AR), virtual reality (VR), and mixed reality (MR) in education holds great promise for the advancement of teaching and learning models that cater to the needs of 21st-century students. AR and VR-based learning offer efficiency and total immersion, while MRI merges the real world with the virtual world for overlapping experiences. However, there is a scarcity of studies examining the pedagogical factors and potential benefits of collaborative learning in these environments. This work aims to conduct a systematic literature review to explore the impact of collaborative experiences facilitated by AR, VR, and MR. For the selection of studies, the rapid systematic review has been prepared following the protocols of the PRISMA 2020 declaration. In this review, were analyzed 62 studies centered on collaborative learning through AR, VR or MR, comprising 7 theoretical revisions, 21 experimental studies and 34 observational studies. It has been followed the criteria exposed in the Guidance for Quality criteria Assessment Tool of the National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI, 2020). Technical limitations and the lack of instructional design hinder the usability of VR/AR in education. Real-world sessions and adequate interaction are suggested for monitoring and manipulating virtual content. Integrating MR technologies in higher education can enhance educational practice, but challenges remain. Further research is needed to assess their effectiveness in collaborative learning. By understanding the challenges and opportunities presented by these technologies in teaching scientific subjects, policymakers and educators can develop effective strategies to leverage current trends and foster meaningful educational change.

Keywords: augmented reality; virtual reality; mixed reality; collaboration; education; learning.

1. INTRODUCCIÓN

El uso educativo de la realidad aumentada (RA), la realidad virtual (RV) o la realidad mixta (RM) promete nuevos modelos de enseñanza y aprendizaje que satisfagan mejor las necesidades de los estudiantes del siglo XXI. Se ha producido un aumento singular del aprendizaje electrónico, a medida que se ha popularizado la educación a distancia basada en plataformas digitales. Debido a esto, hay un gran aumento de la innovación en el sector educativo. Es evidente que existe un creciente interés en el uso de la RA, RV y RM en la educación, respaldado por estudios que han demostrado su eficacia para mejorar la retención de información, facilitar el aprendizaje activo y proporcionar experiencias inmersivas y contextualizadas (Ke y Hsu, 2015; Lindgren *et al.*, 2016; Mosher y Carreon, 2021; Vasilevski y Birt, 2020; Veer *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2021; Watson y Livingstone, 2018; Webb *et al.*, 2022). Sin embargo, a pesar de estos avances, hay lagunas en la comprensión de cómo estas tecnologías pueden ser aprovechadas de manera efectiva en entornos colaborativos de aprendizaje. Se requiere una consolidación sobre el conocimiento existente sobre el impacto de las experiencias colaborativas mediante el uso de RA, RV y RM en la educación. Además, se destaca la importancia de analizar y evaluar críticamente la calidad de los estudios disponibles, tanto experimentales como observacionales, para proporcionar una visión completa y rigurosa del estado actual del arte en esta área.

La técnica de aprendizaje basada en RA ha demostrado ser un método de aprendizaje activo ya que es capaz de convertir de forma rápida y eficiente la información adquirida en memoria a largo plazo (Santos *et al.*, 2014). Los materiales de aprendizaje, como videos o como parte de una simulación o un juego, están disponibles para que los instructores los utilicen para involucrar a los estudiantes. Según Wanis (2019), la RA combina objetos reales y virtuales en su propio entorno y se la conoce como una tecnología que tiene la capacidad de superponer objetos virtuales en nuestro mundo real en tiempo real. La realidad virtual, por otro lado, se conoce generalmente como una tecnología informática totalmente inmersiva que permite al usuario interactuar con el espacio de trabajo digital de una manera única. Por otro lado, MR combina elementos del mundo real y virtual para crear una experiencia inmersiva. Utiliza tecnologías como AR y VR para superponer objetos digitales en el entorno físico.

Según Webb *et al.* (2022) muchas investigaciones anteriores han sugerido que las simulaciones por computadora pueden apoyar el aprendizaje de conceptos difíciles por parte de estudiantes de secundaria. Siguiendo a Elmqaddem (2019) en el sector de la educación y la formación, permite a los técnicos, por ejemplo, aprender nuevos procedimientos en condiciones reales. Ante un nuevo dispositivo, la persona puede descubrir paso a paso el procedimiento de desmontaje viendo aparecer las instrucciones en tiempo real. *HoloLens*, por ejemplo, permite a los estudiantes de medicina manipular y visualizar el cuerpo humano con una precisión sin precedentes. En el ámbito cultural, las aplicaciones de realidad aumentada permiten a turistas o visitantes de museos descubrir la historia de lugares u obras con sólo apuntar la

cámara de su smartphone en su dirección. Siguiendo a Ke y Hsu (2015), *Wikitude*, una aplicación móvil de RA basada en la ubicación aprovecha el GPS incorporado en los dispositivos móviles para rastrear la ubicación real de un usuario y presentar datos virtuales contextualmente relevantes de los puntos de referencia circundantes (por ejemplo, edificios, parques y tiendas). Las aplicaciones de RA también pueden funcionar sin restricciones de ubicación y utilizar imágenes y objetos del mundo real como “triggers” para activar la superposición de información digital para apoyar el aprendizaje. Por ejemplo, la aplicación *Aurasma* permite a sus usuarios ver “Aura”, un artefacto multimedia que puede ser una animación o un videoclip, apuntando sus dispositivos móviles a un disparador designado del mundo real.

En cuanto al aprendizaje colaborativo, el aprendizaje colaborativo asistido por computadora móvil (MCSCCL, siglas en inglés) se refiere a la práctica de creación de significado por parte de grupos de individuos en el contexto de una actividad conjunta mediada a través de la computación móvil (Ke y Hsu, 2015). En una revisión reciente de estudios empíricos sobre MCSCCL, Hsu y Ching (2013) encontraron múltiples formas en las que la informática móvil mediaba la creación de significado en una actividad conjunta.

En particular, los dispositivos móviles interconectados de forma inalámbrica pueden: 1) facilitar el intercambio de información y la provisión de comentarios instantáneos; y 2) proporcionar a las personas diferentes partes de una tarea de aprendizaje grupal y coordinar la interacción orientada a la tarea. Sin embargo, aunque Webb *et al.* (2022) sugieren que existen beneficios de la realidad virtual para el aprendizaje, concluyen que no hay suficientes estudios para examinar qué factores pedagógicos pueden ser importantes, o si el aprendizaje colaborativo en estos entornos puede ser beneficioso (Merchant *et al.*, 2014). Whewell *et al.* (2022) exploraron diferentes combinaciones de tecnologías digitales inmersivas a través de una comunidad conectada, señalando que tanto el conectivismo como el constructivismo resaltan la importancia de construir relaciones sociales entre estudiantes en un contexto de aprendizaje. Alalwan *et al.* (2020) indican que comprender los desafíos del uso de la realidad virtual y la realidad aumentada en la enseñanza de materias científicas proporcionaría los medios para que los responsables de las políticas educativas apoyen las medidas necesarias para reflexionar de manera efectiva sobre las tendencias actuales y así desarrollar un cambio educativo.

El presente trabajo tiene como objetivo principal revisar sistemáticamente la literatura sobre el impacto de las experiencias colaborativas mediante el uso de RA, RV y RM. En esta revisión se plantea la discusión sobre los objetivos y aportaciones de los estudios incluidos en la revisión, así como las limitaciones y desafíos que enfrenta la implementación de estas tecnologías en entornos colaborativos de aprendizaje.

Asimismo, los objetivos específicos de la revisión se centran en presentar una revisión paraguas que establezca el estado actual del arte sobre la temática, analizar y evaluar la calidad por separado tanto de los estudios experimentales como observacionales incluidos en la revisión, y discutir sobre los objetivos y principales

aportaciones de los estudios incluidos en la revisión, así como sobre las limitaciones del uso de AR y VR en entornos colaborativos.

2. MÉTODO

Para la selección de estudios se ha elaborado la revisión sistemática siguiendo los protocolos de la declaración PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021).

2.1. *Criterios de elegibilidad*

Se han considerado los siguientes criterios de inclusión: estudios escritos en español e inglés; manuscritos revisados por pares; trabajos con acceso a texto completo. Por otro lado, como criterios de exclusión se rechazaron tesis doctorales y manuscritos de fuentes poco fiables. La muestra de la revisión sistemática está compuesta por estudios que han utilizado la RV, RA o RM en experiencias didácticas colaborativas, y por estudios que han teorizado sobre sus posibilidades en el contexto educativo.

2.2. *Fuentes de información y estrategia de búsqueda*

La ubicación de los estudios fue el 23 de mayo de 2023 en dos de las bases de datos informáticas en línea más importantes de las áreas de Ciencias Sociales y de la Salud: ISI Web Of Science y SCOPUS. Por decisión editorial, finalmente se actualizó la ubicación de los estudios al 13 de mayo de 2024. En la Tabla 1 se muestra el detalle de las búsquedas en JCR y en SCOPUS, utilizando la siguiente expresión de búsqueda: [collaborative learning AND VR OR virtual reality OR AR OR augmented reality OR MR OR mixed reality]. La búsqueda se filtró en SCOPUS por título, resumen y palabras clave, y en ISI Web Of Science por TOPIC, desde 2009. Se elaboró una tabla cuantitativa ad-hoc, ordenando por año y asignando a los estudios un número de registro que permitió su posterior selección en su clasificación. fase.

2.3. *Proceso de selección de estudios y extracción de datos*

Durante la revisión del texto completo, el revisor evaluó la elegibilidad de los estudios según los criterios de inclusión y exclusión predefinidos. En este caso, como solo una persona realizó el proceso de selección del estudio, es importante asegurarse de que el proceso sea imparcial y exhaustivo. Esto se logró haciendo que un segundo revisor examinara de forma independiente un subconjunto aleatorio de los estudios para garantizar la coherencia en el proceso de selección. En cuanto al proceso de extracción de datos, los datos se extrajeron utilizando un formulario estandarizado para garantizar la coherencia y precisión. En este caso, la extracción de datos fue realizada por una sola persona y registrada en una hoja de cálculo Excel que incluyó información sobre el diseño de cada estudio, las características de los participantes,

las intervenciones, los resultados y el riesgo de sesgo, entre otros aspectos relevantes, lo que ayudó a garantizar que los datos se recopilasen de manera coherente y precisa, mejorando la calidad y la fiabilidad de la revisión sistemática.

Por otra parte, para analizar la producción científica se utilizó la Guía para la Evaluación de la Calidad de la Herramienta para Revisiones Sistemáticas y Metanálisis del Instituto Nacional del Corazón, los Pulmones y la Sangre (NHLBI). La guía del NHLBI (2020) es una herramienta bien establecida y ampliamente reconocida en el ámbito de la medicina y la salud. Su uso proporciona credibilidad y confiabilidad a la evaluación de la calidad de la revisión sistemática. Asimismo, proporciona un marco estandarizado y sistemático para evaluar la calidad de la evidencia científica, incluyendo consideraciones sobre la metodología de los estudios incluidos, la claridad y la coherencia en la presentación de los resultados, entre otros aspectos relevantes para el área temática de la presente revisión.

Por otro lado, se utilizó la escala *Quality Assessment of Controlled Intervention Studies* para evaluar los estudios experimentales originales, en los cuales se implementa una intervención o tratamiento y se compara con un grupo de control. La escala se centra en varios dominios clave de calidad metodológica, como el diseño del estudio, la asignación al azar, el ocultamiento de la asignación, el cegamiento de los participantes y los evaluadores, la comparabilidad de los grupos al inicio del estudio, el manejo de desviaciones del protocolo y la tasa de abandono, entre otros. Cada dominio se evalúa mediante una serie de criterios específicos, y se asigna una puntuación a cada estudio en función del cumplimiento de esos criterios. Esto permite una evaluación cuantitativa de la calidad de los estudios incluidos en la revisión.

Finalmente, se utilizó la escala *Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Studies* para evaluar los estudios observacionales originales, como estudios de cohorte y estudios transversales, que no involucran intervenciones experimentales. Al igual que la escala para estudios experimentales, esta herramienta se centra en varios dominios de calidad metodológica relevantes para estudios observacionales, como el diseño del estudio, el tamaño y representatividad de la muestra, la validez y fiabilidad de las mediciones, el manejo de factores de confusión y sesgos, y el seguimiento de los participantes. Cada dominio se evalúa mediante criterios específicos, y se asigna una puntuación a cada estudio en función de su cumplimiento, lo que permite una evaluación cuantitativa de su calidad.

Ambas herramientas están diseñadas para ser utilizadas por revisores sistemáticos como parte del proceso de evaluación crítica de la literatura científica. Permiten una evaluación estandarizada y rigurosa de la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión, lo que contribuye a la validez y fiabilidad de los hallazgos de la revisión. Para medir la calidad de los estudios experimentales y de los estudios de intervención controlada o de cohorte observacional y transversales, se siguieron los criterios de calidad de las herramientas de evaluación de calidad de la NHLBI, utilizando puntos de corte que definen una escala de 1 a 4 estrellas de calidad siguiendo el número de criterios que sí se cumplen [1 estrella, ★☆☆☆ (<3), 2 estrellas, ★★☆☆ (3-6), 3

estrellas, ★★☆☆ (7-10), 4 estrellas, ★★★★★ (11-14)]. Las herramientas de evaluación de calidad del NHLBI (2020) no están diseñadas para evaluar la calidad de artículos en el campo de la educación. Sin embargo, las respuestas proporcionadas anteriormente se basan en las secciones de la herramienta que son aplicables a esta revisión.

3. RESULTADOS

La búsqueda arrojó 3227 resultados en SCOPUS (1656 de actas de congresos, 978 artículos de revistas y 455 de libros), resultando 36 revisiones, 610 artículos, 142 capítulos de libros y el resto sin especificar. La búsqueda en WOS con la misma cadena de búsqueda, buscando palabras en los campos de búsqueda por “título”, arrojó 75963 resultados, quedando 2497 para el área de Investigación Educativa en Educación. En total, en la primera fase de identificación se identificaron 5724 registros. La Tabla 1 muestra el detalle de las búsquedas en JCR y en SCOPUS.

En la segunda fase de clasificación se filtró la búsqueda de artículos en acceso abierto y se eliminaron registros por no cumplir con los criterios de inclusión y exclusión, obteniendo un total de 696 resultados en SCOPUS y 815 resultados en WOS, haciendo un total de 1511 registros. En la fase de elegibilidad, y luego de la lectura del resumen, se descartaron 1274 estudios por no cumplir con los criterios

TABLA 1
FASES DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Year	Identificación		Clasificación	
	JCR	SCOPUS	JCR	SCOPUS
2024	210	183	63	47
2023	410	496	157	110
2022	420	487	116	78
2021	378	351	139	73
2020	316	287	114	57
2019	230	228	82	46
2018	123	164	44	32
2017	128	140	46	22
2016	82	109	22	17
2015	55	97	6	20
2014	28	117	6	12
2013	39	125	4	17
2012	27	108	8	13
2011	17	114	3	8
2010	16	100	3	15
2009	18	121	2	13

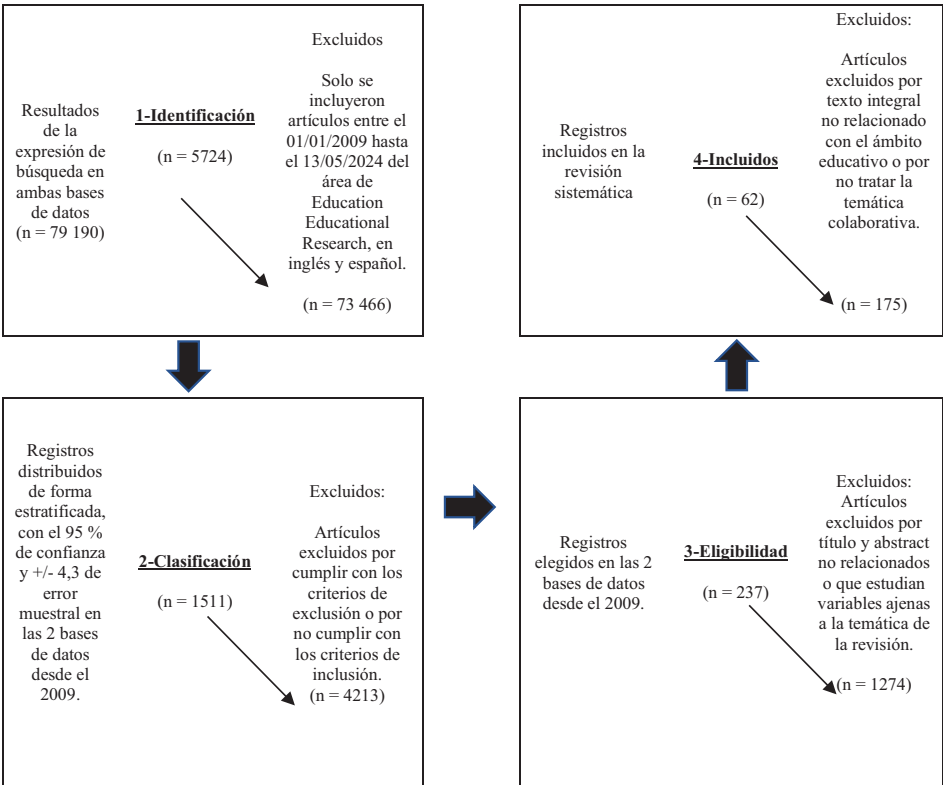
Fuente: Elaboración propia, basada en datos extraídos en WoS y SCOPUS

de inclusión y por no adaptarse a la línea temática de la revisión sistemática, resultando 237 estudios. Finalmente, en la fase de inclusión de artículos para revisión se seleccionaron 62 trabajos. En la figura 1 se puede ver un diagrama de flujo del proceso de selección de artículos.

En esta revisión se analizaron 62 estudios centrados en el aprendizaje colaborativo a través de RA, RV y RM, comprendiendo 7 revisiones teóricas (Tabla 2, Anexo 1), 55 estudios originales, 21 experimentales (5 RV, 8 RA y 8 RM) (Tabla 3, Anexo 2) y 34 observacionales (10 RV, 5 RA y 19 RM) (Tabla 4, Anexo 3). Tomando la matriz de los 55 estudios originales incluidos en la revisión, hay 15 estudios (28 %) que analizan el impacto del trabajo colaborativo a través de la RV, 13 estudios (23 %) que analizan el impacto del trabajo colaborativo a través de la RA y 27 estudios (49 %) que analizan el impacto del trabajo colaborativo a través de la RM.

En la Figura 2 se comparan los porcentajes de cumplimiento de cada uno de los 14 criterios de evaluación, por un lado, de *la Quality Assessment Tool for*

FIGURA 1
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE ARTÍCULOS



Observational Cohort and Cross-Sectional Studies para evaluar los estudios observacionales originales, y por otro, de la *Quality Assessment of Controlled Intervention Studies* para evaluar los estudios experimentales originales.

En la Figura 3 se compara la calidad de los estudios observacionales y experimentales incluidos en la revisión sistemática.

FIGURA 2
CUMPLIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE LA NHLBI (2020)

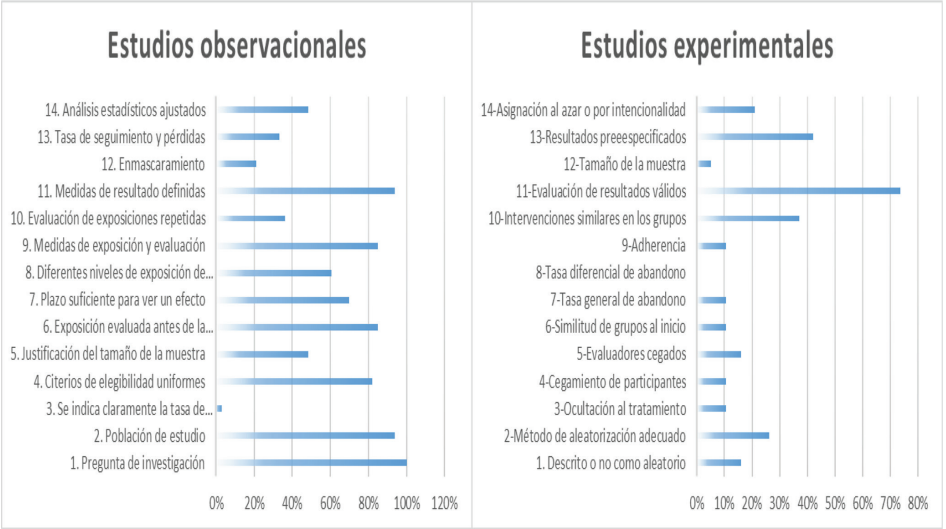
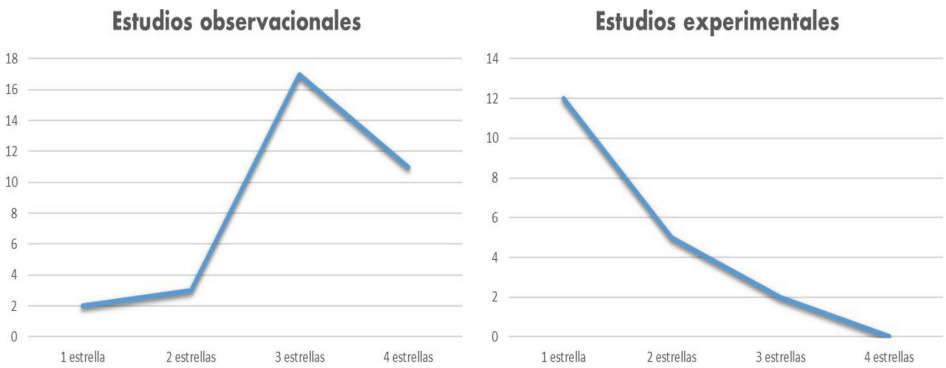


FIGURA 3
CALIDAD DE LOS ESTUDIOS OBSERVACIONALES Y EXPERIMENTALES INCLUIDOS EN LA REVISIÓN



Se puede apreciar que los estudios observacionales presentaron mayor calidad en comparación con los estudios experimentales, teniendo en cuenta los 14 criterios de evaluación de ambas herramientas de evaluación de la NHLBI (2020). En orden decreciente, los estudios observacionales obtuvieron 3 estrellas en un 52 %, 4 estrellas en un 33 %, 2 estrellas en un 9 % y 1 estrella en un 6 %. Por otro lado, los estudios experimentales obtuvieron 1 estrella en un 63 %, 2 estrellas en un 26 %, 3 estrellas en un 11 % y 4 estrellas en un 0 %.

4. DISCUSIÓN

4.1. *Objetivos y principales aportaciones de los estudios incluidos en la revisión*

Los estudios se centran en explorar los beneficios y aplicaciones de la RA y la RV en la educación, así como en el aprendizaje colaborativo. Muchos de ellos también buscan comprender cómo estas tecnologías pueden mejorar la interacción social, la creatividad y la generación de ideas en el aprendizaje colaborativo (Rodríguez *et al.*, 2018; Sanabria y Lizárraga, 2017). Algunos estudios incluidos en la revisión sistemática tienen el objetivo de explorar, desarrollar y validar la efectividad de la RV y la RA en el aprendizaje colaborativo (Ke y Hsu, 2015; Lindgren *et al.*, 2016; Veer *et al.*, 2022; Watson y Livingstone, 2018). Estos estudios buscan investigar las formas en que estas tecnologías pueden mejorar la experiencia de aprendizaje, fomentar la colaboración y mejorar el rendimiento académico en diferentes áreas, como biología, educación tecnológica, geografía e ingeniería, centrándose en diferentes grupos de edad.

Los estudios también se centran en el desarrollo de interfaces colaborativas en entornos de RV y RA, así como en la identificación de los efectos de los sistemas hápticos y modelos 3D en el aprendizaje (Kucukyilmaz y Issak, 2019; Webb *et al.*, 2022). Además, algunos estudios han comparado los resultados del aprendizaje colaborativo en entornos de realidad virtual y realidad aumentada con los libros de texto tradicionales. Algunos estudios han buscado comparar el rendimiento de los estudiantes en entornos virtuales con el uso de libros de texto convencionales (de Back *et al.*, 2020). Otros buscan desarrollar herramientas mejoradas con RA y RV y evaluar su efectividad en el aprendizaje (Sanabria y Lizárraga, 2017), y otros exploran cómo se pueden superar las limitaciones técnicas para mejorar la experiencia de aprendizaje colaborativo en entornos de RA y RV (Alhumaidan *et al.*, 2018; Ahsen *et al.*, 2019; Bekele *et al.*, 2021; Jovanović y Milosavljević, 2022; Rusli *et al.*, 2023).

Aunque algunos de los objetivos de los estudios que se centran en la realidad aumentada RA y RV pueden complementarse, existen algunas diferencias notables. Los estudios que se centran en la RA generalmente buscan examinar cómo la tecnología RA puede mejorar la experiencia de aprendizaje, por ejemplo, cómo se puede utilizar la RA para mejorar la comprensión de conceptos abstractos o para mejorar la interacción entre los estudiantes y el material de aprendizaje. También

se han realizado estudios para explorar cómo la RA puede mejorar la creatividad y la colaboración en el aula (Chung *et al.*, 2021; Matcha y Rambli, 2013; Sanabria y Lizárraga, 2017; Strada *et al.*, 2023).

Por otro lado, los estudios que se centran en la realidad virtual generalmente buscan examinar cómo la tecnología de realidad virtual puede mejorar la experiencia de aprendizaje inmersivo y proporcionar a los estudiantes un entorno simulado para experimentar situaciones de la vida real (de Back *et al.*, 2020; Lindgren *et al.*, 2016; McArdle *et al.*, 2011). También se han realizado estudios para explorar cómo la realidad virtual puede mejorar la colaboración y la resolución de problemas entre los estudiantes (Wang *et al.*, 2021; Webb *et al.*, 2022).

En síntesis, los estudios de realidad aumentada se centran en cómo la tecnología puede mejorar la comprensión y la interacción, mientras que los estudios de realidad virtual se centran en proporcionar una experiencia de aprendizaje inmersiva y simulada. En conclusión, estos estudios resaltan la importancia de la realidad mixta en el aprendizaje colaborativo y sugieren que estas tecnologías tienen el potencial de mejorar significativamente el aprendizaje colaborativo y el rendimiento académico de los estudiantes. Asimismo, se demuestra que las tecnologías también pueden mejorar la interacción social y la creatividad, mejorando significativamente el aprendizaje y la colaboración en un futuro próximo.

Respecto a las principales contribuciones de los artículos revisados, AR y VR son tecnologías que tienen un gran potencial en diferentes áreas de aplicación, como entretenimiento, turismo, arquitectura, medicina, educación e industria. En particular, la realidad virtual inmersiva mejora el aprendizaje colaborativo, especialmente en la comprensión espacial y la navegación, y puede mejorar la participación de los estudiantes en una tarea colaborativa de resolución de problemas y mejorar la comunicación grupal colaborativa (de Back *et al.*, 2020). También es digno de mención el potencial de los entornos virtuales colaborativos (CVE, en sus siglas en inglés) para apoyar las interacciones sociocomunicativas en personas con trastorno del espectro autista (TEA) (Wallace *et al.*, 2017). Por otro lado, el conocimiento de los contenidos tecnológicos pedagógicos (TPACK) es importante para docentes y estudiantes en el diseño e implementación de tecnologías educativas. En este sentido, el diseño de dispositivos de realidad aumentada móvil tendió a promover mejor las competencias de conocimiento tecnológico, mientras que la visualización de móviles con tecnología AR pareció apoyar mejor el desarrollo del conocimiento de contenidos, aumentando en ambos casos el interés científico de los estudiantes y sus habilidades de colaboración. (Ke y Hsu, 2015).

Las tecnologías RA y RV tienen un gran potencial para mejorar el aprendizaje colaborativo y la interacción sociocomunicativa en diferentes áreas de aplicación, pero es necesario seguir investigando el uso de estas tecnologías en entornos educativos reales y la evaluación de su eficacia para mejorar su aprendizaje y colaboración grupal (Wallace *et al.*, 2017). La RA y la RV también son herramientas eficaces para mejorar la educación y la comprensión de las ciencias, transformando el aprendizaje

pasivo en interacciones atractivas con objetos 3D y mejorando la motivación de los estudiantes para la intervención (McArdle *et al.*, 2011; Stromberga *et al.*, 2021; Tüzün *et al.*, 2019; Watson y Livingstone, 2018; Webb *et al.*, 2022)

En cuanto al aprendizaje de habilidades sociales, la intervención mediante AR/VR ha demostrado ser efectiva en la mayoría de los estudios, lo que sugiere que la combinación de estas tecnologías puede proporcionar una intervención más efectiva (Mosher y Carreon, 2021). En el campo de la medicina, la RA y la RV también mejoran el aprendizaje de habilidades prácticas y la comprensión de la anatomía. En particular, la RM ha demostrado valor para facilitar oportunidades de aprendizaje significativas y mejorar el conocimiento de los estudiantes sobre sistemas dinámicos y conceptos de control (Richards, 2023). Asimismo, las tecnologías RV y RA son valiosas herramientas complementarias a los métodos de enseñanza tradicionales, proporcionando una experiencia educativa atractiva y motivadora. Sin embargo, su eficacia depende de varios factores y requiere más investigación.

4.2. Limitaciones del uso de AR y VR en entornos colaborativos

Siguiendo a Fu y Liu (2018), debido a la singularidad de los proyectos de construcción, la aplicación de RA/RA (por ejemplo, inversión en equipos y simulación de construcción) puede resultar en un alto costo y consumo de tiempo. Para la realidad virtual, sus principales deficiencias son un efecto de inmersión limitado, retroalimentación sensorial inadecuada (es decir, sentido virtual principal, menos en sentido auditivo, háptico y otros), falta de comodidad para el usuario (cinetosis, dificultades en el cuerpo), y el costo o accesibilidad a esta tecnología. En esta línea, según Elmqaddem (2019) la accesibilidad de la RV y la RA es el principal elemento que debería ayudar a popularizar estas tecnologías. Google fue el pionero en proponer plataformas y cascos de realidad virtual baratos que comenzaron con el cartón de Google en 2014 (la primera plataforma de realidad virtual y cascos de realidad virtual). En 2016, Google presentó una nueva plataforma de realidad virtual y unos auriculares llamados *Daydream* (que cuestan menos de 50 euros). Dado que la accesibilidad de la realidad virtual es muy importante, *Oculus* ha estado trabajando en el proyecto de nuevos visores. Para beneficiarnos de los cascos de realidad virtual de mejor calidad como *Oculus Rift*, debíamos tener una computadora costosa (que satisficiera las necesidades de *Oculus Rift*). Y el propio *Oculus Rift* se propuso por 700 euros. Siguiendo a Miller *et al.* (2020) los auriculares portátiles, como *Microsoft HoloLens*, son cada vez más comunes y son un ejemplo de nuevas tecnologías que están maduras para una mayor investigación desde una perspectiva de investigación educativa. *Microsoft HoloLens* es una computadora portátil con Windows 11 que permite la interacción con MR. El *head-mounted display* (HMD) superpone imágenes virtuales tridimensionales (3D) en el mundo real, lo que permite a los usuarios interactuar con estas proyecciones holográficas mediante comandos de voz y gestos. Según Sonntag y Bodensiek (2022) la mayor parte de la

investigación en este campo todavía se limita a la realidad aumentada (AR) basada en tabletas, aunque la RM a través de dispositivos montados en la cabeza (HMD, siglas en inglés) ofrece posibilidades avanzadas para apoyar a los estudiantes en actividades de aprendizaje basadas en el laboratorio: el uso de un HMD permite la experimentación con las manos libres, las representaciones o simulaciones virtuales pueden mostrarse y percibirse tridimensionalmente y superponerse al entorno físico de una forma más natural, y una interacción intuitiva basada en gestos con los elementos virtuales. Por tanto, MR-HMD es capaz de combinar el aprendizaje en el laboratorio con las ventajas de las simulaciones interactivas por ordenador como *PheT*. Los pocos estudios que utilizan explícitamente MR-HMD indican un impacto positivo en el conocimiento conceptual (Scaravetti y Doroszewski, 2019; Sonntag *et al.* (2019). Los MR-HMD recientemente disponibles en el mercado, como *Microsoft HoloLens 2*, que se utilizan en el estudio de Sonntag y Bodensiek (2022) están equipados con funciones integradas de seguimiento ocular.

Por otro lado, en el estudio de McArdle *et al.* (2011) planearon que si CLEV-R proporciona acceso asincrónico al material de lectura a través de la biblioteca, la lectura sincrónica es donde tiene lugar la mayor parte del aprendizaje. Al ofrecer ambas formas de *e-learning*, corresponde al estudiante decidir cuál le resulta más beneficiosa. Asimismo, CLEV-R ofrece pocas oportunidades para la comunicación en línea asincrónica, como tableros de mensajes, correo electrónico y foros. Estos se pueden incorporar fácilmente al diseño y formar el foco de estudios futuros para determinar cómo se comparan con la comunicación en tiempo real que ofrece actualmente CLEV-R y, en última instancia, mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes. Sin embargo, existen limitaciones técnicas en el uso de tecnologías RM, especialmente en la subcategoría AR, como el tiempo de respuesta en entornos colaborativos. Además, habrá dificultades para replicar experimentos de RM en entornos y escenarios educativos reales, y ausencia de procesos de evaluación en entornos educativos colaborativos que incorporen tecnologías en el continuo de la virtualidad con la introducción de nuevas pantallas montadas en la cabeza (OHMD), como *HoloLens*, *Oculus Rift* y *HTC Vive*.

En cuanto a las dificultades de aplicar estas tecnologías en un contexto educativo, Jovanović y Milosavljević (2022) sugieren que los aspectos educativos y de resolución de problemas a través de avatares 3D podrían ser una buena forma de personalizar la experiencia y atraer usuarios para que apoyen la plataforma. Sin embargo, monitorear las actividades de los estudiantes es difícil porque la atención se centra en el entorno virtual. Se sugiere que las sesiones de clase del mundo real sean más confiables para las actividades de los estudiantes. Alalwan *et al.* (2020) indican que existe una falta de lineamientos en RV, la falta de participación a largo plazo en RA, la falta de diseño instruccional, la falta de competencia y la falta de atención enfocada en RV y RA, siendo los factores más importantes para asegurar su usabilidad en el sistema educativo.

En cuanto a la interacción, según Wanis (2019) la tecnología VR se centra en sustituir la realidad por un entorno virtual completo. Para manipular el contenido virtual en el espacio de trabajo de RA y RV, se necesita una interacción adecuada.

La interacción es uno de los temas de investigación más estudiados en la investigación de realidad virtual y realidad aumentada. La interacción con RA debería funcionar bien cuando se trata de utilizar objetos reales para manipular objetos virtuales.

La integración de las tecnologías de RM y la visualización móvil en educación superior es una contribución importante que puede mejorar la práctica educativa. RA, RV y RM tienen el potencial de mejorar la comprensión científica y la educación, y la combinación de estas tecnologías puede proporcionar una intervención más eficaz en la enseñanza de habilidades sociales. Si bien el uso de estas tecnologías emergentes en la educación tiene beneficios, también existen desafíos que deben abordarse, como la falta de competencia, el diseño instruccional limitado, la falta de atención enfocada, la falta de tiempo y los recursos ambientales limitados.

5. CONCLUSIONES

Las tecnologías de Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) han emergido como herramientas poderosas en el ámbito educativo, especialmente en el fomento del aprendizaje colaborativo. Los estudios revisados reflejan un enfoque variado, desde explorar los beneficios y aplicaciones hasta el desarrollo de interfaces colaborativas y la comparación con métodos tradicionales de enseñanza. En esta revisión, se destacan las siguientes conclusiones:

- Los estudios revisados se centran en explorar cómo la RA y la RV pueden mejorar la experiencia de aprendizaje colaborativo, fomentar la interacción social, la creatividad y la generación de ideas. Además, se investiga la efectividad de estas tecnologías en diversas áreas académicas y grupos de edad. La RV se orienta hacia la creación de entornos simulados para experiencias inmersivas, mientras que la RA se enfoca en mejorar la comprensión y la interacción. Ambas tecnologías muestran un potencial significativo para mejorar el rendimiento académico y la colaboración grupal.
- A pesar de su potencial, el uso de RA y RV en entornos colaborativos enfrenta desafíos significativos. Estos incluyen altos costos de implementación, limitaciones tecnológicas como retroalimentación sensorial inadecuada y accesibilidad limitada. Además, la falta de competencia y diseño instruccional adecuado, junto con la falta de investigaciones de alta calidad, plantean barreras para su adopción efectiva en entornos educativos.
- Aunque los estudios revisados muestran resultados prometedores, se necesita una mayor investigación para comprender completamente el impacto de estas tecnologías en el aprendizaje colaborativo. Es crucial abordar las limitaciones identificadas y desarrollar estrategias efectivas para su implementación en entornos educativos reales. Esto incluye mejorar la competencia en el uso de estas tecnologías, diseñar intervenciones pedagógicas efectivas y evaluar su efectividad a largo plazo.

- A la luz de los resultados, se echa en falta una mayor calidad en los estudios experimentales que trabajan experiencias colaborativas mediante el uso de RA, RV y RM. Además, se necesitan más investigaciones para determinar la efectividad de estas tecnologías en el aprendizaje colaborativo en comparación con otras herramientas de enseñanza.

6. LIMITACIONES Y POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA

Como limitaciones de la revisión se destaca un posible sesgo de selección, ya que realizó por un único revisor, lo que podría introducir sesgos. Por otro lado, aunque se utilizó una estrategia de búsqueda exhaustiva en dos bases de datos importantes, la restricción del idioma a español e inglés y la exclusión de tesis doctorales podrían haber limitado la amplitud de la muestra de estudios incluidos. Por otra parte, a pesar de los esfuerzos por garantizar la exhaustividad de la búsqueda, existe la posibilidad de que algunos estudios pertinentes no hayan sido identificados y, por lo tanto, no incluidos en la revisión. Esto podría deberse a limitaciones en los términos de búsqueda utilizados o a la falta de acceso a determinadas bases de datos o fuentes de información. Por último, podría haber limitaciones en la evaluación de la calidad metodológica, ya que, aunque se utilizaron herramientas establecidas para evaluar la calidad de los estudios incluidos, como la Guía para la Evaluación de la Calidad del NHLBI, estas herramientas pueden no ser totalmente aplicables al campo de la educación. Esto podría limitar la validez de las evaluaciones de calidad metodológica y, por lo tanto, la confiabilidad de los hallazgos de la revisión. A pesar de estas limitaciones, la revisión sistemática proporciona una visión general exhaustiva del estado actual de la literatura sobre el uso de RA, RV y RM en experiencias colaborativas en el contexto educativo. Sin embargo, se recomienda interpretar los resultados con cautela y considerar estas limitaciones al aplicar las conclusiones en la práctica educativa o al diseñar futuras investigaciones en este campo.

Respecto a futuras líneas de investigación, se necesita más investigación para evaluar la efectividad de las tecnologías de AR y VR en el aprendizaje colaborativo en comparación con otras herramientas de enseñanza. Esto incluye estudios que examinen el impacto en el rendimiento académico, la interacción social y la creatividad de los estudiantes. También es crucial investigar estrategias para mejorar la competencia y la capacitación en el uso de tecnologías de RA y RV entre educadores y estudiantes. Esto puede incluir el desarrollo de programas de formación específicos y la creación de pautas claras para el diseño e implementación de actividades educativas basadas en estas tecnologías. Por último, se recomienda investigar sobre cómo diseñar entornos educativos efectivos que integren de manera adecuada las tecnologías de RA y RV. Esto incluye explorar diferentes enfoques pedagógicos y métodos de evaluación que aprovechen al máximo el potencial de estas tecnologías para mejorar el aprendizaje colaborativo. A modo de corolario, mientras que la RA

y la RV ofrecen oportunidades emocionantes para transformar el aprendizaje colaborativo, es necesario abordar desafíos clave y seguir investigando para aprovechar plenamente su potencial en el ámbito educativo.

FINANCIACIÓN

Este trabajo ha sido financiado por la Convocatoria de Ayudas para Estancias de Investigación en el Extranjero 2022/2023 de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahsen, T., Dogar, F. R., & Gardony, A. L. (2019). *Exploring the impact of network impairments on remote collaborative augmented reality applications*. In Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-6). <https://doi.org/10.1145/3290607.3312774>
- Alalwan, N., Cheng, L., Al-Samarraie, H., Yousef, R., Alzahrani, A. I., & Sarsam, S. M. (2020). Challenges and prospects of virtual reality and augmented reality utilization among primary school teachers: A developing country perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 66, 100876. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100876>
- Alhumaidan, H., Lo, K. P. Y., & Selby, A. (2018). Co-designing with children a collaborative augmented reality book based on a primary school textbook. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 15, 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2017.11.005>
- Ali, A. A., Dafoulas, G. A., & Augusto, J. C. (2019). Collaborative educational environments incorporating mixed reality technologies: A systematic mapping study. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(3), 321-332. <http://dx.doi.org/10.1109/tlt.2019.2926727>
- Baratz, G., Sridharan, P. S., Yong, V., Tatsuoaka, C., Griswold, M. A., & Wish-Baratz, S. (2022). Comparing learning retention in medical students using mixed-reality to supplement dissection: a preliminary study. *International Journal of Medical Education*, 13, 107. <https://doi.org/10.5116/ijme.6250.0af8>
- Bekele, M. K., Champion, E., McMeekin, D. A., & Rahaman, H. (2021). The Influence of Collaborative and Multi-Modal Mixed Reality: Cultural Learning in Virtual Heritage. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(12), 79. <https://doi.org/10.3390/mti5120079>
- Birt, J., Moore, E., & Cowling, M. (2017). Improving paramedic distance education through mobile mixed reality simulation. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(6). <https://doi.org/10.14742/ajet.3596>
- Bölek, K. A., De Jong, G., Van der Zee, C. E., van Cappellen van Walsum, A. M., & Henssen, D. J. (2022). Mixed-methods exploration of students' motivation in using augmented reality in neuroanatomy education with prosected specimens. *Anatomical Sciences Education*, 15(5), 839-849. <https://doi.org/10.1002/ase.2116>
- Bonnat, C., & Sanchez, E. (2022). Toward a Digital Companion to Monitor a Mixed Reality Game. *International Journal of Serious Games*, 9(3), 5-21. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v9i3.504>

- Bork, F., Lehner, A., Eck, U., Navab, N., Waschke, J., & Kugelmann, D. (2021). The effectiveness of collaborative augmented reality in gross anatomy teaching: a quantitative and qualitative pilot study. *Anatomical Sciences Education*, 14(5), 590-604. <https://doi.org/10.1002/ase.2016>
- Chung, C. Y., Awad, N., & Hsiao, I. H. (2021). Collaborative programming problem-solving in augmented reality: Multimodal analysis of effectiveness and group collaboration. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(5), 17-31. <https://doi.org/10.14742/ajet.7059>
- de Back, T. T., Tinga, A. M., Nguyen, P., & Louwerse, M. M. (2020). Benefits of immersive collaborative learning in CAVE-based virtual reality. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00228-9>
- Dolezal, M., Chmelik, J., & Liarokapis, F. (2020). *An immersive virtual environment for collaborative geovisualization*. arXiv preprint arXiv:2010.06279. <https://doi.org/10.1109/vs-games.2017.8056613>
- Doumanis, I., Economou, D., Sim, G. R., & Porter, S. (2019). The impact of multimodal collaborative virtual environments on learning: A gamified online debate. *Computers & Education*, 130, 121-138. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.017>
- Du, J., & DeWitt, D. (2023). Technology acceptance of a wearable collaborative augmented reality system in learning chemistry among junior high school students. *Journal of Pedagogical Research*, 8(1), 106-119. <https://doi.org/10.33902/jpr.202425282>
- Elmqaddem, N. (2019). Augmented reality and virtual reality in education. Myth or reality?. *International journal of emerging technologies in learning*, 14(3). <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i03.9289>
- Essmiller, K., Asino, T. I., Ibukun, A., Alvarado-Albertorio, F., Chaivisit, S., Do, T., & Kim, Y. (2020). Exploring mixed reality based on self-efficacy and motivation of users. *Research in Learning Technology*, 28, 1-14. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2331>
- Frank, J. A., & Kapila, V. (2017). Mixed-reality learning environments: Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds. *Computers & Education*, 110, 88-104. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.009>
- Fu, M., & Liu, R. (2018). *The application of virtual reality and augmented reality in dealing with project schedule risks*. In Proceedings of the Construction Research Congress (pp. 429-438). <https://doi.org/10.1061/9780784481264.042>
- Ghobadi, M., Shirowzhan, S., Ghiai, M. M., Mohammad Ebrahimzadeh, F., & Tahmasebinia, F. (2022). Augmented reality applications in education and examining key factors affecting the users' behaviors. *Education Sciences*, 13(1), 10. <https://doi.org/10.3390/educsci13010010>
- Hamzah, F., Abdullah, A. H., & Ma, W. (2024). Advancing Education through Technology Integration, Innovative Pedagogies and Emerging Trends: A Systematic Literature Review. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 41(1), 44-63. <https://doi.org/10.37934/araset.41.1.4463>
- Hsu, Y. C., & Ching, Y. H. (2013). Mobile app design for teaching and learning: Educators' experiences in an online graduate course. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 14(4), 117-139. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v14i4.1542>
- Jovanović, A., & Milosavljević, A. (2022). VoRtex Metaverse platform for gamified collaborative learning. *Electronics*, 11(3), 317. <https://doi.org/10.3390/electronics11030317>

- Ke, F., & Hsu, Y. C. (2015). Mobile augmented-reality artifact creation as a component of mobile computer-supported collaborative learning. *The Internet and Higher Education*, 26, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.04.003>
- Kucukyilmaz, A., & Issak, I. (2019). Online identification of interaction behaviors from haptic data during collaborative object transfer. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(1), 96-102. <https://doi.org/10.1109/lra.2019.2945261>
- Leonard, S. N., & Fitzgerald, R. N. (2018). Holographic learning: A mixed reality trial of Microsoft HoloLens in an Australian secondary school. *Research in Learning Technology*, 26. <https://doi.org/10.25304/rlt.v26.2160>
- Li, C., Jiang, Y., Ng, P. H., Dai, Y., Cheung, F., Chan, H. C., & Li, P. (2024). *Collaborative Learning in the Edu-Metaverse Era: An Empirical Study on the Enabling Technologies*. IEEE Transactions on Learning Technologies. <https://doi.org/10.1109/tlt.2024.3352743>
- Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., & Johnson, E. (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education*, 95, 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001>
- Lu, S. J., Lin, Y. C., Tan, K. H., & Liu, Y. C. (2022). Revolutionizing elementary disaster prevention education and training via augmented reality-enhanced collaborative learning. *International Journal of Engineering Business Management*, 14, 1-11. <https://doi.org/10.1177/18479790211067345>
- Matcha, W., & Rambli, D. R. A. (2013). Exploratory study on collaborative interaction through the use of augmented reality in science learning. *Procedia computer science*, 25, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.018>
- McArdle, G., Schön, B., & Bertolotto, M. (2011). *Assessing the application of 3D collaborative interfaces within an immersive virtual university*. In Virtual Immersive and 3D Learning Spaces: Emerging Technologies and Trends (pp. 1-24). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-61692-825-4.ch001>
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- Miller, J., Hoover, M., & Winer, E. (2020). Mitigation of the Microsoft HoloLens' hardware limitations for a controlled product assembly process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 109, 1741-1754. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05768-y>
- Minty, I., Lawson, J., Guha, P., Luo, X., Malik, R., Cerneviciute, R., ... & Martin, G. (2022). The use of mixed reality technology for the objective assessment of clinical skills: a validation study. *BMC Medical Education*, 22(1), 639. <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03701-3>
- Mosher, M. A., & Carreon, A. C. (2021). Teaching social skills to students with autism spectrum disorder through augmented, virtual and mixed reality. *Research in Learning Technology*, 29. <https://doi.org/10.25304/rlt.v29.2626>
- Motejlek, J., & Alpay, E. (2021). Taxonomy of virtual and augmented reality applications in education. *IEEE transactions on learning technologies*, 14(3), 415-429. <https://doi.org/10.1109/tlt.2021.3092964>
- National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI) (2020). *Study quality assessment tools*.

- Niculescu, A., & Thorsteinsson, G. (2011). Enabling idea generation through computer-assisted collaborative learning. *Studies in Informatics and Control*, 20(4), 403-410. <https://doi.org/10.24846/v20i4y201108>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.10.020>
- Pan, X., Zheng, M., Xu, X., & Campbell, A. G. (2021). Knowing your student: targeted teaching decision support through asymmetric mixed reality collaborative learning. *IEEE Access*, 9, 164742-164751. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3134589>
- Peramunugamage, A., Ratnayake, U. W., & Karunanayaka, S. P. (2022). Systematic review on mobile collaborative learning for engineering education. *Journal of Computers in Education*, 10(1), 83-106. <https://doi.org/10.1007/s40692-022-00223-1>
- Pickering, J. D., Panagiotis, A., Ntakakis, G., Athanassiou, A., Babatsikos, E., & Bamidis, P. D. (2022). Assessing the difference in learning gain between a mixed reality application and drawing screencasts in neuroanatomy. *Anatomical Sciences Education*, 15(3), 628-635. <https://doi.org/10.1002/ase.2113>
- Radu, I., Tu, E., & Schneider, B. (2020). *Relationships between body postures and collaborative learning states in an augmented reality study*. En Artificial Intelligence in Education: 21st International Conference, AIED 2020, Ifrane, Morocco, July 6–10, 2020, Proceedings, Part II 21 (pp. 257-262). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52240-7_47
- Richards, S. (2023). Student Engagement Using HoloLens Mixed-Reality Technology in Human Anatomy Laboratories for Osteopathic Medical Students: an Instructional Model. *Medical Science Educator*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s40670-023-01728-9>
- Robinson, B. L., Mitchell, T. R., & Brenseke, B. M. (2020). Evaluating the use of mixed reality to teach gross and microscopic respiratory anatomy. *Medical Science Educator*, 30(4), 1745-1748. <https://doi.org/10.1007/s40670-020-01064-2>
- Rodriguez, C., Hudson, R., & Niblock, C. (2018). Collaborative learning in architectural education: Benefits of combining conventional studio, virtual design studio and live projects. *British Journal of Educational Technology*, 49(3), 337-353. <https://doi.org/10.1111/bjet.12535>
- Rusli, K. D. B., Lau, S. T., Tan, J. Z., & Liaw, S. Y. (2023). Academic-Practice Collaboration Using Virtual Telesimulation to Support Students' Clinical Practice. *Nurse Educator*, 48(1), E6-E10. <https://doi.org/10.1097/nne.0000000000001243>
- Sanabria, J. C., & Lizárraga, J. (2017). Enhancing 21st century skills with AR: Using the gradual immersion method to develop collaborative creativity. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 487-501. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00627a>
- Santos, M. E. C., Chen, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Miyazaki, J., & Kato, H. (2014). Augmented reality learning experiences: survey of prototype design and evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7, 38–56. <https://doi.org/10.1109/tlt.2013.37>
- Scaravetti & D. Doroszewski (2019). Augmented reality experiment in higher education, for complex system appropriation in mechanical design, *Procedia CIRP*, 84, 197. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.284>

- Schaffernak, H., Moesl, B., Vorraber, W., Holy, M., Herzog, E. M., Novak, R., & Koglbauer, I. V. (2022). Novel mixed reality use cases for pilot training. *Education Sciences*, 12(5), 345. <https://doi.org/10.3390/educsci12050345>
- Shore, J., Ravindran, A. V., Gonzalez, V. A., & Giacaman, N. (2023). Using augmented reality in aec tertiary education: a collaborative design case. *Journal of Civil Engineering Education*, 149(1), 04022009. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ei.2643-9115.0000069](https://doi.org/10.1061/(asce)ei.2643-9115.0000069)
- Silseth, K., Steier, R., & Arnseth, H. C. (2024). Exploring students' immersive VR experiences as resources for collaborative meaning making and learning. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s11412-023-09413-0>
- Simone, M., Galati, R., Barile, G., Grasso, E., De Luca, R., Cartanese, C., ... & Grassi, G. (2021). Remote mentoring in laparotomic and laparoscopic cancer surgery during Covid-19 pandemic: an experimental setup based on mixed reality. *Medical Education Online*, 26(1), 1996923. <https://doi.org/10.1080/10872981.2021.1996923>
- Sofianidis, A. (2022). Why do students prefer augmented reality: A mixed-method study on preschool teacher students' perceptions on self-assessment AR quizzes in science education. *Education sciences*, 12(5), 329. <https://doi.org/10.3390/educsci12050329>
- Sonntag, G., Albuquerque, M., Magnor, & O. Bodensiek (2019). Hybrid learning environments by data-driven augmented reality. *Procedia Manuf.*, 31, 32. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.006>
- Sonntag, D., & Bodensiek, O. (2022). How mixed reality shifts visual attention and success in experimental problem solving. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 023101. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.18.023101>
- Stojanovska, M., Tingle, G., Tan, L., Ulrey, L., Simonson-Shick, S., Mlakar, J., ... & Wish-Baratz, S. (2020). Mixed reality anatomy using Microsoft HoloLens and cadaveric dissection: a comparative effectiveness study. *Medical science educator*, 30, 173-178. <https://doi.org/10.1007/s40670-019-00834-x>
- Strada, F., Lopez, M. X., Fabricatore, C., dos Santos, A. D., Gyaurov, D., Battegazzorre, E., & Bottino, A. (2023). Leveraging a collaborative augmented reality serious game to promote sustainability awareness, commitment and adaptive problem-management. *International Journal of Human-Computer Studies*, 172, 102984. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102984>
- Stromberga, Z., Phelps, C., Smith, J., & Moro, C. (2021). *Teaching with disruptive technology: the use of augmented, virtual, and mixed reality (HoloLens) for disease education*. In Biomedical Visualisation (pp. 147-162). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61125-5_8
- Tüzün, H., Bilgiç, H. G., & Elçi, S. Y. (2019). The effects of 3D multi-user virtual environments on collaborative learning and social presence. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 11(3), 221-231. <https://doi.org/10.26822/iejee.2019349247>
- Vasilevski, N., & Birt, J. (2020). Analysing construction student experiences of mobile mixed reality enhanced learning in virtual and augmented reality environments. *Research in Learning Technology*, 28. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2329>
- Veer, V., Phelps, C., & Moro, C. (2022). Incorporating mixed reality for knowledge retention in physiology, anatomy, pathology, and pharmacology interdisciplinary education:

- a randomized controlled trial. *Medical Science Educator*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s40670-022-01635-5>
- Wallace, S., Parsons, S., & Bailey, A. (2017). Self-reported sense of presence and responses to social stimuli by adolescents with autism spectrum disorder in a collaborative virtual reality environment. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 42(2), 131-141. <https://doi.org/10.3109/13668250.2016.1234032>
- Wang, A., Thompson, M., Uz-Bilgin, C., & Klopfer, E. (2021). Authenticity, interactivity, and collaboration in virtual reality games: Best practices and lessons learned. *Frontiers in Virtual Reality*, 130. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.734083>
- Wanis, I. A. (2019). *A review on collaborative learning environment across virtual and augmented reality technology*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 551, No. 1, p. 012050). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/551/1/012050>
- Watson, P., & Livingstone, D. (2018). Using mixed reality displays for observational learning of motor skills: A design research approach enhancing memory recall and usability. *Research in Learning Technology*, 26. <https://doi.org/10.25304/rlt.v26.2129>
- Webb, M., Tracey, M., Harwin, W., Tokatli, O., Hwang, F., Johnson, R., ... & Jones, C. (2022). Haptic-enabled collaborative learning in virtual reality for schools. *Education and Information Technologies*, 27(1), 937-960. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10639-4>
- Whewell, E., Caldwell, H., Frydenberg, M., & Andone, D. (2022). Changemakers as digital makers: Connecting and co-creating. *Education and Information Technologies*, 27(5), 6691-6713. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10892-1>
- Xeferis, S., & Palaigeorgiou, G. (2019). Mixing educational robotics, tangibles and mixed reality environments for the interdisciplinary learning of geography and history. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 9(2), 82-98. <https://doi.org/10.3991/ijep.v9i2.9950>

ANEXO 1

En la Tabla 2, se presenta un análisis de 7 revisiones de literatura para establecer el estado actual del arte sobre el tema, detallando el objetivo, las preguntas planteadas en el proceso de búsqueda y el aporte de cada revisión, así como los 8 criterios expuestos en la Guía para Herramienta de evaluación de criterios de calidad para revisiones sistemáticas y metaanálisis.

Si bien las revisiones tienen algunas fortalezas, como preguntas de investigación bien definidas y una presentación clara de los estudios incluidos, carecen de transparencia en la metodología utilizada para realizar la búsqueda de literatura y evaluar la calidad de los estudios, y no informan sobre la evaluación del sesgo de publicación. La mayoría de las revisiones tienen un estudio de mapeo sistemático de alta calidad que cumple con la mayoría de los criterios para la evaluación de la calidad, incluido tener una pregunta de investigación clara, una búsqueda bibliográfica exhaustiva, una revisión independiente y dual de los estudios para su inclusión y exclusión, y una evaluación independiente de la calidad de los estudios incluidos. Sin embargo, la mayoría de las revisiones no informan si se evaluó el sesgo de publicación.

TABLA 2
7 REVISIONES INCLUIDAS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Autores	Objetivo	Preguntas	Principales contribuciones	Herramienta de evaluación de la calidad para revisiones sistemáticas y metanálisis (NHLBI)							
				1	2	3	4	5	6	7	8
Elmqaddem (2019). Augmented reality and virtual reality in education. Myth or reality?	Explicar las razones detrás del nuevo auge de la RA y la RV y por qué su adopción será una realidad en la educación en un futuro próximo.	1- ¿Qué hace que la realidad aumentada y la realidad virtual ya no sean sólo un mito?	Se enumeran las principales áreas de aplicación de la realidad aumentada (AR), como el entretenimiento, turismo, arquitectura, medicina, educación e industria.								
		2- ¿Por qué la RA y la RV son una nueva mejora real de la enseñanza y el aprendizaje?									
		3- ¿Qué los hace más adecuados para el estudiante del siglo XXI que los diferentes métodos de aprendizaje que hemos conocido hasta ahora?		S	S	NR	NR	NR	S	NR	NA
Ali <i>et al.</i> (2019). Collaborative educational environments incorporating mixed reality technologies: A systematic mapping study.	Revisar la literatura de 2007 a 2017 sobre entornos educativos colaborativos que incorporan VR.	1- ¿Cuáles son los diferentes tipos, beneficios y desafíos del uso de tecnologías de realidad virtual y aumentada en la educación?	Los resultados resaltaron la falta de investigación en todo el espectro de la RM, especialmente en la AR, así como limitaciones técnicas como el tiempo de respuesta y la ausencia de procesos de evaluación en entornos educativos colaborativos.								
		2- ¿Cómo se puede integrar la realidad virtual y aumentada en las prácticas docentes para mejorar los resultados de los estudiantes?									
		3- ¿Cuáles son los tipos, beneficios, desafíos e integración de la realidad virtual y aumentada en la educación para mejores resultados de los estudiantes?		S	S	S	S	S	S	NR	NA

(continúa)

TABLA 2

7 REVISIONES INCLUIDAS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA (*continuación*)

Autores	Objetivo	Preguntas	Principales contribuciones	Herramienta de evaluación de la calidad para revisiones sistemáticas y metanálisis (NHLBI)							
Peramunugamage <i>et al.</i> (2022). Systematic review on mobile collaborative learning for engineering education.	Determinar en qué medida se han realizado investigaciones sobre el aprendizaje colaborativo móvil en el campo de la educación en ingeniería entre 2010 y 2020.	1- ¿Cuál es la eficacia del aprendizaje colaborativo móvil para mejorar la educación en ingeniería? 2- ¿Cuáles son los beneficios y desafíos de implementar el aprendizaje colaborativo móvil en la educación en ingeniería?	Se revisaron cuarenta y ocho artículos para determinar metodologías de investigación y áreas de estudio para aplicaciones móviles colaborativas en la educación en ingeniería. La RA se utilizó principalmente en informática e ingeniería electrónica, con potencial para laboratorios virtuales colaborativos en los planes de estudio de ingeniería.	S	S	S	S	S	S	NR	ND

Autores	Objetivo	Preguntas	Principales contribuciones	Herramienta de evaluación de la calidad para revisiones sistemáticas y metanálisis (NHLBI)
Wang <i>et al.</i> (2021). Authenticity, and collaboration in virtual reality games: best practices and lessons learned.	Revisar cómo los entornos colaborativos de realidad virtual (CLEVR) influyen en el aprendizaje.	1- ¿Cómo se pueden diseñar juegos de realidad virtual para promover experiencias de aprendizaje auténticas? 2- ¿Cuáles son los elementos clave de colaboración que deberían incorporarse en los juegos de realidad virtual para mejorar los resultados del aprendizaje?	Se revisaron las prácticas para el aprendizaje colaborativo en realidad virtual y se encontró que las representaciones auténticas mejoran el aprendizaje pero requieren más tiempo y recursos. Las experiencias interactivas ayudan a aprender las relaciones espaciales mejor que las 2D.	S NA NA NA NA NA NA
Pan <i>et al.</i> (2021). Knowing your student: targeted teaching decision support through asymmetric mixed reality collaborative learning.	Conocer el funcionamiento de entornos virtuales colaborativos (CVE) creados mediante tecnologías de Realidad Mixta (MR).	1- ¿Cómo se puede utilizar el aprendizaje colaborativo de realidad mixta para respaldar la toma de decisiones docentes específicas? 2- ¿Cuál es el papel del aprendizaje colaborativo por RM asimétrico en la mejora de las interacciones profesor-alumno? 3- ¿Cuáles son las características y beneficios clave del uso del aprendizaje colaborativo de realidad mixta para la enseñanza específica en educación?	Se presenta la clasificación de los CVE de realidad mixta como simétricos/asimétricos, con LFD para visualización autoestereoscópica en CVE asimétricos. LFD utilizados en la formación veterinaria basada en RM para reducir los costos de los dispositivos.	S NA NA NA NA NA NA

(continúa)

TABLA 2
7 REVISIONES INCLUIDAS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA (*continuación*)

Autores	Objetivo	Preguntas	Principales contribuciones	Herramienta de evaluación de la calidad para revisiones sistemáticas y metanálisis (NHLBI)									
Motejlek & Alpay (2021). Taxonomy of virtual and augmented reality applications in education.	Analizar taxonomías de realidad virtual y aumentada existentes.	1- ¿Cuáles son los diferentes tipos de aplicaciones de realidad virtual y aumentada que se han utilizado en educación? 2- ¿Cómo se han utilizado las tecnologías de realidad virtual y aumentada para mejorar la enseñanza y el aprendizaje en diversos entornos educativos?	Se analizan las taxonomías existentes de realidad virtual y aumentada, mostrando lagunas de conocimiento y terminología mixta que provoca confusión. Se centra en tecnología, contenidos, gamificación y operación.	S	S	S	S	S	N	N	S	N	NA

Autores	Objetivo	Preguntas	Principales contribuciones	Herramienta de evaluación de la calidad para revisiones sistemáticas y metanálisis (NHLBI)
Hamzah, F., Abdullah, A. H., & Ma, W. (2024). Advancing Education through Technology Integration, Innovative Pedagogies and Emerging Trends: A Systematic Literature Review..	Revisar el avance de la educación a través de la integración de tecnología, innovación pedagógica y tendencias emergentes, para mejorar la participación de los estudiantes, sus habilidades de pensamiento crítico y el acceso a los recursos.	1-¿Cómo el avance de la educación a través de la integración de tecnología, pedagogías innovadoras y tendencias emergentes se ha convertido en una fuerza impulsora para transformar el panorama del aprendizaje?	La tecnología en la educación mejora el aprendizaje, pero plantea desafíos como seguridad y desigualdad. Se recomienda supervisión en línea y mejorar infraestructura. Tendencias como la gamificación prometen avances, con atención a disparidades socioeconómicas y sostenibilidad. Las plataformas de realidad virtual ofrecen experiencias educativas inmersivas y personalizadas, y la realidad aumentada proporciona una visión de lente mágica de los objetos físicos que simplifica y facilita el proceso de aprendizaje.	S S S ND ND S ND ND

*S, sí; N, no; ND, no determinado; NA, no aplicable; NR, no reportado

ANEXO 2

En la Tabla 3 se detalla el objetivo y las contribuciones de los 21 estudios experimentales incluidos en la revisión, así como la evaluación de su calidad de cara a la evaluación de calidad de los estudios de intervención controlada.

La mayoría de estos estudios tienen un diseño que no implica aleatorización, los grupos eran similares al inicio del estudio en características importantes que podrían afectar los resultados, no informan la tasa general de abandono del estudio ni la tasa diferencial de abandono entre los grupos de tratamiento al final del estudio. Por otro lado, algunos estudios no involucran intervenciones, por lo que no es aplicable el cumplimiento de los protocolos de intervención o la similitud de los tratamientos de fondo. No hay información sobre la tasa diferencial de abandono entre grupos (no hay información sobre el número de participantes que abandonaron). Tampoco está claro si la tasa diferencial de deserción fue de 15 puntos porcentuales o menos. No hay información sobre el uso de otras intervenciones o tratamientos. No hay información sobre el tamaño de la muestra requerido para detectar una diferencia significativa entre los grupos del 80% en el resultado principal, y no hay información sobre si se realizaron los análisis por intencionalidad (en algunos estudios, los autores no informaron de si se trataba de un ensayo aleatorio). No está claro si el método de asignación al azar fue adecuado o si se ocultó la asignación al tratamiento. Los autores no mencionaron si los participantes y proveedores del estudio estaban cegados a la asignación del grupo de tratamiento, pero es poco probable dado que algunos estudios involucraron un juego de realidad virtual o realidad aumentada.

TABLA 3
21 ARTÍCULOS EXPERIMENTALES INCLUIDOS EN LA REVISIÓN

Título	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C
Webb <i>et al.</i> (2022). Haptic-enabled collaborative learning in virtual reality for schools.	RV	S	S	S	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	NR	NR	NR	★★★★☆
de Back <i>et al.</i> (2020). Benefits of immersive collaborative learning in CAVE-based virtual reality.	RV	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	NR	S	S	★★★★☆
Niculescu & Thorsteinsson (2011). Enabling idea generation through computer-assisted collaborative learning.	RV	N	S	N	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	NR	S	S	★★★★☆
Jovanović & Milosavljević (2022). VoRtex Metaverse platform for gamified collaborative learning.	RV	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	NR	NR	NR	★★★★☆
Ke & Hsu (2015). Mobile augmented-reality artifact creation as a component of mobile computer-supported collaborative learning.	RA	S	S	NR	NR	NR	NR	S	NR	S	S	S	S	S	S	★★★★☆
Chung <i>et al.</i> (2021). Collaborative programming problem-solving in augmented reality: Multimodal analysis of effectiveness and group collaboration.	RA	NR	S	NR	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	NR	S	NR	★★★★☆
Bork <i>et al.</i> (2021). The effectiveness of collaborative augmented reality in gross anatomy teaching: A quantitative and qualitative pilot study.	RA	NR	NR	N	NR	NR	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	★★★★☆
Marcha & Rambli (2013). Exploratory study on collaborative interaction through the use of augmented reality in science learning.	RA	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	NR	NR	N	NR	★★★★☆

(continúa)

TABLA 3

21 ARTÍCULOS EXPERIMENTALES INCLUIDOS EN LA REVISIÓN (continuación)

Título	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C
Alhumaidan <i>et al.</i> (2018). Co-designing with children a collaborative augmented reality book based on a primary school textbook.	RA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	ND	★★★★
Lu <i>et al.</i> (2022). Revolutionizing elementary disaster prevention education and training via augmented reality-enhanced collaborative learning.	RA	NR	NA	NA	NA	NA	NR	NR	NR	NA	S	S	NR	ND	ND	★★★★
Sofianidis (2022). Why Do Students Prefer Augmented Reality: A Mixed-Method Study on Preschool Teacher Students' Perceptions on Self-Assessment AR	RA	N	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	S	N	NR	NA	★★★★
Stromberga <i>et al.</i> (2021). Teaching with disruptive technology: the use of augmented, virtual, and mixed reality (HoloLens) for disease education.	RM	N	NA	NA	NA	NA	N	NA	NA	NA	NA	S	NA	S	NA	★★★★
Schaffernak <i>et al.</i> (2022). Novel Mixed Reality Use Cases for Pilot Training.	RM	ND	ND	ND	NR	NR	ND	NA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	★★★★
Birt <i>et al.</i> (2017). Improving paramedic distance education through mobile mixed reality simulation.	RM	N	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	S	NR	NR	NA	★★★★
Minty <i>et al.</i> (2022). The use of mixed reality technology for the objective assessment of clinical skills: a validation study	RM	N	NA	NA	NA	S	N	N	NA	S	N	S	N	S	NA	★★★★
Pickering <i>et al.</i> (2022). Assessing the difference in learning gain between a mixed reality application and drawing screencasts in neuroanatomy.	RM	NR	NR	NR	NR	NR	NR	ND	ND	NR	ND	S	ND	S	ND	★★★★

Título	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C
Veer <i>et al.</i> (2022). Incorporating mixed reality for knowledge retention in physiology, anatomy, pathology, and pharmacology interdisciplinary education: a randomized controlled trial.	RM	S	S	S	ND	S	S	S	NA	ND	S	S	NR	S	S	★★★☆☆
Richards (2023). Student Engagement Using HoloLens Mixed-Reality Technology in Human Anatomy Laboratories for Osteopathic Medical Students: an Instructional Model.	RM	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NA	NA	NR	S	NR	NR	NR	★★☆☆☆
Fu & Liu (2018). The application of virtual reality and augmented reality in dealing with project schedule risks.	RM	NA	NA	NA	NA	NA	NR	NR	NR	NR	NA	S	NR	NR	NA	★★☆☆☆
Li, C., Jiang, Y., Ng, P. H., Dai, Y., Cheung, F., Chan, H. C., & Li, P. (2024). Collaborative Learning in the Edu-Metaverse Era: An Empirical Study on the Enabling Technologies. IEEE Transactions on Learning Technologies.	RV	ND	S	S	ND	ND	S	N	ND	ND	S	S	ND	S	S	★★★☆☆
Du, J., & DeWitt, D. (2023). Technology acceptance of a wearable collaborative augmented reality system in learning chemistry among junior high school students. Journal of Pedagogical Research, 8(1), 106-119.	RA	ND	NA	NA	NA	NA	S	N	ND	S	S	S	ND	S	S	★★☆☆☆

* M, metodología; S, sí; N, no; ND, no determinado; NA, no aplicable; NR, no reportado; C, calidad del estudio.

ANEXO 3

En la Tabla 4 se detalla el objetivo y las contribuciones de los 34 estudios observacionales incluidos en la revisión, así como la evaluación de su calidad en vista de la *Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Studies*.

En todos los artículos se planteó claramente el objetivo y en la mayoría se especificó claramente la población, los participantes, los criterios de inclusión y exclusión. Las exposiciones de interés se midieron antes de medir los resultados, hubo tiempo suficiente para ver las asociaciones entre la exposición y el resultado, se examinaron diferentes niveles de exposición en relación con el resultado y las medidas de exposición se definieron claramente y se implementaron de manera consistente. Asimismo, las medidas de resultado estaban claramente definidas, eran válidas, confiables y se implementaron de manera consistente en todos los participantes del estudio.

Una minoría de artículos no proporcionó una justificación para el tamaño de la muestra, una descripción del poder estadístico o estimaciones de la varianza y el efecto. Además, las exposiciones no se evaluaron más de una vez a lo largo del tiempo, y las posibles variables de confusión clave no se midieron ni se ajustaron estadísticamente por su impacto en la relación entre la(s) exposición(es) y el(los) resultado(s).

TABLA 4
34 ARTÍCULOS OBSERVACIONALES INCLUIDOS EN LA REVISIÓN

Título	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C
Wallace <i>et al.</i> (2017). Self-reported sense of presence and responses to social stimuli by adolescents with autism spectrum disorder in a collaborative virtual reality environment.	RV	S	S	NR	S	N	S	ND	NA	S	N	S	ND	S	N	★★★★☆
Kucukyilmaz & Issak (2019). Online identification of interaction behaviors from haptic data during collaborative object transfer.	RV	S	S	NA	S	S	S	S	S	S	S	S	ND	NA	S	★★★★★
Radu <i>et al.</i> (2020). Relationships between body postures and collaborative learning states in an augmented reality study.	RV	S	S	NA	S	ND	S	S	S	S	S	S	ND	S	S	★★★★★
Tüzün <i>et al.</i> (2019). The effects of 3D multi-user virtual environments on collaborative learning and social presence.	RV	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S	S	ND	S	S	★★★★★
Rodriguez <i>et al.</i> (2018). Collaborative learning in architectural education: Benefits of combining conventional studio, virtual design studio and live projects.	RV	S	S	NA	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	ND	NA	S	★★★★☆
Dolezal <i>et al.</i> (2020). An immersive virtual environment for collaborative geovisualization.	RV	S	S	NA	NA	NR	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	★★☆☆☆
McArdle <i>et al.</i> (2011). Assessing the application of 3D collaborative interfaces within an immersive virtual university.	RV	S	S	NA	S	N	NA	NA	NA	S	NA	S	NA	NA	S	★★★★☆
Doumanis <i>et al.</i> (2019). The impact of multimodal collaborative virtual environments on learning: A gamified online debate.	RV	S	S	NA	S	S	S	ND	N	S	N	S	N	NA	S	★★★★☆
Rusli <i>et al.</i> (2023). Academic-Practice Collaboration Using Virtual Telesimulation to Support Students' Clinical Practice.	RV	S	S	NA	S	S	NA	NA	NA	NA	NA	S	NA	NA	NA	★★☆☆☆
Bölek <i>et al.</i> (2022). Mixed-methods exploration of students' motivation in using augmented reality in neuroanatomy education with prosected specimens.	RA	S	S	NA	S	S	S	ND	S	S	S	S	ND	S	S	★★★★★

(continúa)

TABLA 4
34 ARTÍCULOS OBSERVACIONALES INCLUIDOS EN LA REVISIÓN (continuación)

Título	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C
Strada <i>et al.</i> (2023). Leveraging a collaborative augmented reality serious game to promote sustainability awareness, commitment and adaptive problem-management.	RA	S	S	NR	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	★★★★★
Ahsen <i>et al.</i> (2019). Exploring the impact of network impairments on remote collaborative augmented reality applications.	RA	S	S	NR	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	★★★★★
Ghobadi <i>et al.</i> (2022). Augmented Reality Applications in Education and Examining Key Factors Affecting the Users' Behaviors.	RA	S	S	NR	S	N	S	S	S	S	N	S	NR	NA	N	★★★★☆
Shore <i>et al.</i> (2023). Using augmented reality in AEC tertiary education: a collaborative design case.	RA	S	S	NA	S	N	S	S	S	S	N	S	NR	NA	N	★★★★☆
Vasilevski, & Birt (2020). Analysing construction student experiences of mobile mixed reality enhanced learning in virtual and augmented reality environments.	RA	S	S	NR	S	S	S	S	S	S	S	S	NR	N	S	★★★★★
Mosher, & Carreon (2021). Teaching social skills to students with autism spectrum disorder through augmented, virtual and mixed reality.	MR RM	S	S	NA	S	N	S	S	S	S	N	S	NR	NA	N	★★★★☆
Alalwan <i>et al.</i> (2020). Challenges and prospects of virtual reality and augmented reality utilization among primary school teachers: A developing country perspective.	MR RM	S	S	NR	S	N	S	S	S	S	N	S	NR	NR	N	★★★★☆
Bonnat & Sanchez (2022). Toward a Digital Companion to Monitor a Mixed Reality Game.	MR RM	S	S	NA	S	N	S	S	S	S	NA	S	NR	NA	NA	★★★★☆
Xefferis, & Palaigeorgiou (2019). Mixing educational robotics, tangibles and mixed reality environments for the interdisciplinary learning of geography and history.	MR RM	S	S	NA	S	N	S	S	S	S	N	S	NR	NA	N	★★★★☆
Essmiller <i>et al.</i> (2020). Exploring mixed reality based on self-efficacy and motivation of users.	MR RM	S	S	NA	S	N	S	S	S	S	N	S	NR	NR	N	★★★★☆

Título	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C
Frank, & Kapila (2017). Mixed-reality learning environments: Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds.	MR RM	S	S	NA	S	N	S	S	S	S	N	S	NR	NR	S	★★★★☆
Lindgren <i>et al.</i> (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation.	MR RM	S	S	NA	S	S	S	S	S	S	N	S	NR	S	S	★★★★★
Sonntag, & Bodensiek (2022). How mixed reality shifts visual attention and success in experimental problem solving.	RM	S	S	NR	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	★★★★★
Stojanovska <i>et al.</i> (2020). Mixed reality anatomy using Microsoft HoloLens and cadaveric dissection: a comparative effectiveness study.	RM	S	S	NR	S	N	S	S	NR	S	N	S	S	S	N	★★★★☆
Robinson <i>et al.</i> (2020). Evaluating the use of mixed reality to teach gross and microscopic respiratory anatomy.	RM	S	S	NR	S	N	S	S	NR	S	N	S	S	S	N	★★★★☆
Leonard & Fitzgerald (2018). Holographic learning: A mixed reality trial of Microsoft HoloLens in an Australian secondary school.	RM	S	S	NR	S	N	S	S	NR	S	N	S	NR	NR	N	★★★★☆
Baratz <i>et al.</i> (2022). Comparing learning retention in medical students using mixed-reality to supplement dissection: a preliminary study.	RM	S	S	NR	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	★★★★★
Watson & Livingstone (2018). Using mixed reality displays for observational learning of motor skills: A design research approach enhancing memory recall and usability.	RM	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	S	S	S	NR	S	★★★★★
Simone <i>et al.</i> (2021). Remote mentoring in laparotomic and laparoscopic cancer surgery during Covid-19 pandemic: an experimental setup based on mixed reality.	RM	S	S	NA	NA	S	S	S	NA	S	S	S	NA	NA	S	★★★★☆
Vasilevski & Birt (2020). Analysing construction student experiences of mobile mixed reality enhanced learning in virtual and augmented reality environments.	RM	S	S	NA	S	S	S	NA	S	S	S	S	NR	NR	S	★★★★☆

(continúa)

TABLA 4
34 ARTÍCULOS OBSERVACIONALES INCLUIDOS EN LA REVISIÓN (continuación)

Título	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	C
Wanis (2019). A review on collaborative learning environment across virtual and augmented reality technology.	RM	S	N	NA	NA	N	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N	★★☆☆
Fu, & Liu (2018). The application of virtual reality and augmented reality in dealing with project schedule risks.	RM	S	N	NA	NA	S	S	S	N	N	NA	S	NA	NA	N	★★☆☆
Bekele <i>et al.</i> (2021). The Influence of Collaborative and Multi-Modal Mixed Reality: Cultural Learning in Virtual Heritage.	RM	S	S	NA	N	S	S	S	NA	S	NA	S	NA	NA	N	★★★☆☆
Silseth, K., Steier, R., & Arnseth, H. C. (2024). Exploring students' immersive VR experiences as resources for collaborative meaning making and learning. International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 1-26.	RV	N	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	S	NA	S	NA	NA	S	★★★☆☆

* M, metodología; S, sí; N, no; ND, no determinado; NA, no aplicable; NR, no reportado; C, calidad del estudio.