

Actualidad, desafíos y futuras direcciones para la realidad extendida en la educación médica pediátrica

Ivón Andrea Paredes-Cañón^{a,†}, Juan Francisco Guevara-Ramírez^{a,§,*}

Facultad de Medicina



Resumen

Introducción: La realidad extendida (XR) es una herramienta innovadora en educación médica pediátrica, clave para reanimación neonatal y emergencias. Este estudio sintetiza críticamente la evidencia actual sobre su efectividad, barreras de implementación e impacto en la adquisición y retención de habilidades clínicas.

Objetivo: Determinar el impacto de las tecnologías de XR en la adquisición y retención de habilidades clínicas en la educación médica pediátrica según sus factores determinantes de efectividad y adopción en diversos contextos de aprendizaje.

Método: Se realizó una revisión panorámica rigurosa siguiendo PRISMA-ScR. La búsqueda abarcó PubMed, Scopus y Google Scholar (2018-2024), seleccionando estudios originales y revisiones sobre XR en educación pediátrica. Dos revisores independientes extrajeron y categorizaron datos: efectividad, limitaciones y aplicaciones.

Resultados: De 22 estudios, la XR mejoró retención teórica, confianza clínica y habilidades no técnicas. En contextos de bajos recursos, estudios de reanimación neonatal con XR alcanzaron tasas de aprobación de hasta el 76% en el Examen Clínico Objetivo Estructurado (ECO), demostrando efectividad comparable o superior a los métodos tradicionales en ciertas poblaciones. Se identificó evidencia contradictoria en habilidades psicomotoras, alta incidencia de cibermareo (hasta 40%), falta de estandarización métrica y escasa investigación cualitativa (5.33%). La XR móvil en recursos limitados mostró brechas en infraestructura y acceso.

Discusión: La XR valora la simulación segura, accesibilidad y motivación. No obstante, enfrenta desafíos como evidencia inconsistente en habilidades psicomotoras, efectos adversos, altos costos, falta de estandarización evaluativa y escasez de estudios longitudinales y cualitativos.

Conclusiones: La XR es un complemento prometedor. Su adopción exige marcos pedagógicos estandarizados,

^a Facultad de Medicina, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia.
ORCID ID:

[†] <https://orcid.org/0009-0006-0107-7298>

[§] <https://orcid.org/0009-0008-9451-6417>

Recibido: 16-agosto-2025. Aceptado: 10-octubre-2025.

*Autor para correspondencia: Juan Francisco Guevara-Ramírez.

Correo electrónico: juanguera@unisabana.edu.co

Facultad de Medicina, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

estudios longitudinales, integración curricular equitativa, mitigación de barreras técnicas y sinergia con metodologías tradicionales para maximizar su potencial.

Palabras clave: Realidad virtual; realidad aumentada; entrenamiento de simulación; educación médica; pediatría.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Current State, Challenges, and Future Directions for Extended Reality in Pediatric Medical Education

Abstract

Introduction: Extended reality (XR) is an innovative tool in pediatric medical education, critical for neonatal resuscitation and emergencies. This study critically synthesizes current evidence on its effectiveness, implementation barriers, and impact on clinical skill acquisition and retention.

Objective: To map the impact of XR technologies on the acquisition and retention of clinical skills in pediatric medical education, identifying key determinants of effectiveness and adoption in various learning contexts.

Method: A rigorous scoping review following PRISMA-ScR was conducted. Search covered PubMed, Scopus, and Google Scholar (2018-2024), selecting original studies and reviews on XR in pediatric education. Two independent reviewers extracted and categorized data: effectiveness, limitations, and applications.

Results: Of 22 studies, XR improved theoretical retention, clinical confidence, and non-technical skills. In low-resource settings, studies on neonatal resuscitation using XR achieved Objective Structured Clinical Examination (OSCE) pass rates of up to 76%, demonstrating effectiveness comparable or superior to traditional methods in certain populations. Contradictory evidence on psychomotor skills, high cybersickness incidence (up to 40%), lack of metric standardization, and significant qualitative research deficiency (5.33% of included studies) were identified. Mobile XR in limited-resource highlighted gaps in infrastructure and equitable access gaps.

Discussion: XR offers valuable safe simulation, accessibility, and motivation. However, its implementation faces challenges like inconsistent evidence for psychomotor skills, adverse effects, high costs, lack of evaluation standardization, and scarcity of longitudinal and qualitative studies.

Conclusions: XR is a promising complement. Its successful adoption requires standardized pedagogical frameworks, longitudinal studies, equitable curricular integration, mitigation of technical barriers, and synergistic combination with traditional methodologies to maximize its potential.

Keywords: Virtual reality; augmented reality; simulation training; medical education; pediatrics.

This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

La educación médica, particularmente en el ámbito pediátrico, se enfrenta al desafío constante de preparar a los profesionales de la salud para escenarios clínicos complejos de alto riesgo, como la reanimación neonatal, el manejo de urgencias vitales y la simulación de procedimientos invasivos. Tradicionalmente, la capacitación en estas áreas de alta exigencia ha dependido de herramientas como maniqués de alta fidelidad o pacientes estandarizados. Si bien estos métodos han demostrado ser efectivos, presentan limitaciones significativas relacionadas

con los elevados costos de implementación y mantenimiento, su accesibilidad restringida en múltiples entornos, y la variabilidad en la reproducibilidad entre estudiantes e instructores^{1,2}. Estas limitaciones se acentúan en la falta de realismo pleno de los maniqués y en las oportunidades restrictivas para el desarrollo de habilidades comunicativas, a pesar de ofrecer entornos de aprendizaje seguros y control de calidad³.

En este contexto, la realidad extendida (XR), un concepto que engloba las tecnologías inmersivas de realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR) y

realidad mixta (MR), ha emergido como un complemento transformador con un potencial considerable para la educación pediátrica⁴⁻⁶. La XR permite recrear escenarios clínicos hiperrealistas y personalizables, ofreciendo una exposición repetida a la complejidad clínica sin poner en riesgo al paciente.

Evidencia reciente indica que la aplicación de la XR en la educación médica promueve la retención teórica, incrementa la confianza en la ejecución de habilidades técnicas y no técnicas, y mejora la preparación general para el abordaje de la realidad clínica. Específicamente, en simulaciones de reanimación neonatal, la VR ha demostrado resultados comparables a los métodos convencionales, con altas tasas de aprobación en los Exámenes Clínicos Objetivos Estructurados (ECOEs)².

No obstante, la literatura también revela limitaciones significativas en la adopción y efectividad de la XR. Se ha documentado una evidencia limitada y en ocasiones contradictoria sobre su impacto a largo plazo, con estudios que señalan mejoras en habilidades cognitivas, pero no necesariamente psicomotoras⁷. Los efectos adversos, como el cibermareo, han sido reportados con una frecuencia considerable (hasta 40% en estudios piloto), lo que representa una barrera para su adopción generalizada⁸. A esto se le suma la falta de estandarización en las métricas de evaluación, lo que dificulta la comparación entre investigaciones⁹, y la escasez de infraestructura adecuada para la disponibilidad de estas tecnologías en muchos países de bajos y medianos recursos¹⁰.

La disparidad entre la necesidad de capacitación de alta calidad y las barreras de los métodos actuales, junto con las limitaciones no resueltas de la propia tecnología inmersiva, subrayan una brecha crucial en la literatura^{11,12}. Si bien revisiones integradoras confirman el potencial de la XR, también resaltan que un porcentaje mínimo de estudios utiliza metodologías cualitativas para explorar aspectos cruciales como la usabilidad, la aceptabilidad y la equidad en el acceso¹³.

Esta revisión panorámica se enmarca en el periodo 2018-2024 para capturar la evidencia más reciente tras la masificación tecnológica y la aceleración digital pospandemia. A diferencia de otros trabajos que se centran en la efectividad general, esta revisión integra críticamente la efectividad comparativa,

la usabilidad y las barreras técnico-pedagógicas, y propone estrategias de estandarización y aplicación en entornos de recursos limitados, un campo que permanece inexplorado en la literatura.

OBJETIVO

Determinar, mediante una revisión panorámica, el impacto de las tecnologías de realidad extendida (VR, AR y MR) en la adquisición y retención de habilidades clínicas en la educación médica pediátrica, con énfasis en los factores determinantes de su efectividad y adopción en diversos contextos de aprendizaje.

MÉTODO

Diseño y registro del estudio

Se realizó una revisión panorámica de la literatura médica disponible, siguiendo estrictamente las directrices internacionales PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) de la red Enhancing the Quality and Transparency of Health Research¹⁴.

Este diseño fue seleccionado debido a su idoneidad para mapear de manera comprensiva la evidencia en un campo de investigación emergente, identificando conceptos clave, brechas de conocimiento y tipos de evidencia disponible. Si bien el protocolo no fue registrado formalmente en PROSPERO debido a que su enfoque primario es el metaanálisis y las revisiones sistemáticas de intervención, la rigurosidad se garantiza mediante la adhesión total a la lista de chequeo de PRISMA-ScR.

Estrategia de búsqueda y criterios de elegibilidad

La estrategia de búsqueda fue diseñada para maximizar la sensibilidad y la especificidad, asegurando la transparencia y reproducibilidad del estudio. La búsqueda se implementó en las bases de datos PubMed, Scopus y Google Scholar, incluyendo intencionalmente la literatura gris (actas de congresos, tesis) para mitigar el sesgo de publicación. Los criterios de búsqueda combinaron términos controlados en inglés (MeSH) y sus equivalentes en español (DeCS) con términos de texto libre:

((“extended reality” OR “virtual reality” OR “augmented reality” OR “mixed reality” OR “XR” OR



“VR” OR “AR” OR “MR”) AND (“medical education” OR “clinical training” OR “simulation-based education” OR “healthcare training”) AND (“pediatrics” OR “neonatology” OR “child health” OR “residents” OR “medical students”))

Se incluyeron estudios originales (ensayos controlados aleatorizados, estudios cuasiexperimentales, estudios observacionales) y revisiones sistemáticas/metaanálisis, publicados entre enero de 2018 y diciembre de 2024. El periodo fue acotado para capturar la evidencia más reciente tras la masificación y el desarrollo tecnológico de XR. La población objetivo fue el personal de salud en formación o en ejercicio que utilizara XR en entornos educativos pediátricos o neonatales.

Como criterios de exclusión rigurosos, se descartaron informes anecdóticos, series de casos, publicaciones que no fueran revisadas por pares (excepto la literatura gris pertinente), o aquellas que se enfocaran exclusivamente en poblaciones de adultos sin subanálisis pediátrico. Se excluyeron, además, estudios que no reportaran ninguna métrica objetiva o cualitativa de usabilidad o efectividad.

Selección de los estudios y proceso de arbitraje

Los resultados brutos de la búsqueda fueron gestionados en el software de referenciación Mendeley, donde se realizó la eliminación inicial de duplicados. Posteriormente, los registros restantes fueron cargados en la plataforma de revisión sistemática Rayyan, para un cribado ciego e independiente. El proceso de selección se ejecutó en dos fases por dos revisores (I.A.P.C. y J.F.G.R.), quienes mantuvieron una independencia total en la primera etapa:

- Fase de cribado: Los revisores evaluaron títulos y resúmenes aplicando los criterios de elegibilidad predefinidos.
- Fase de elegibilidad: Los artículos preseleccionados fueron recuperados en texto completo y leídos a profundidad para una evaluación final.

Las discrepancias surgidas entre los dos revisores en ambas fases se resolvieron mediante un protocolo de arbitraje en dos etapas para garantizar la objetividad:

- Discusión consensuada: Los revisores se reunieron para discutir las razones de sus diferencias. Si el consenso era alcanzado, se documentaba la decisión.
- Consulta a tercer experto: En caso de persistir la discrepancia o ambigüedad en el texto completo, se sometía el artículo a la evaluación de un tercer asesor del proyecto (J.A.L.C.), experto en educación médica y metodología de la investigación. La decisión del tercer árbitro fue final e inamovible, documentándose formalmente en la tabla de exclusión.

Extracción de datos y síntesis de la evidencia

La extracción de datos de los 22 estudios finales se realizó de forma doble e independiente mediante un formulario estandarizado creado en Microsoft Excel. Los datos extraídos incluyeron: autores, año de publicación, país, diseño del estudio, población, tipo de tecnología, área clínica de enseñanza y métricas de resultado reportadas (retención, confianza, ECOE, cibermareo, entre otras).

La información se sintetizó mediante un análisis temático deductivo. Este enfoque se seleccionó porque los códigos y las categorías principales fueron predefinidos por el objetivo de la revisión. Los datos se agruparon rigurosamente en tres categorías temáticas clave:

- Efectividad comparativa: Resultados cuantitativos (ECOE, puntajes de habilidades).
- Limitaciones y barreras: Desafíos cualitativos y cuantitativos (cibermareo, usabilidad, costos, equidad).
- Aplicaciones y direcciones futuras: Propuestas de estandarización e integración curricular.

Para abordar la heterogeneidad y la calidad de la evidencia, se realizó una evaluación sistemática a cada estudio primario incluido. Se empleó el MERSQI (Medical Education Research Study Quality Instrument), una herramienta validada para la evaluación de la calidad de la investigación en educación médica, que genera una puntuación de 5 a 18. La puntuación obtenida por cada estudio se presenta en la **tabla 1** y se utilizó para ponderar la solidez de los

resultados durante la síntesis narrativa, identificando posibles sesgos y analizando la heterogeneidad de los hallazgos. El MERSQI no se aplicó a revisiones secundarias incluidas en esta revisión panorámica, dado que su diseño metodológico es incompatible con este instrumento.

Consideraciones éticas

Se adhirió estrictamente a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Dado que el estudio se basó en el análisis de literatura publicada y no involucró la interacción directa con seres humanos ni la reco-

lección de datos sensibles, no fue necesario obtener consentimientos informados. Se garantizó el respeto a la autoría original de todas las fuentes consultadas y se mantuvo la confidencialidad de la información, enfocándose en un análisis objetivo de la evidencia científica disponible.

RESULTADOS

La extracción de datos se completó con un total de 22 estudios seleccionados para la síntesis de la evidencia, tal como se detalla en el diagrama de flujo PRISMA (**figura 1**). Estos estudios se caracterizaron, evaluaron y resumieron en la **tabla 1**.

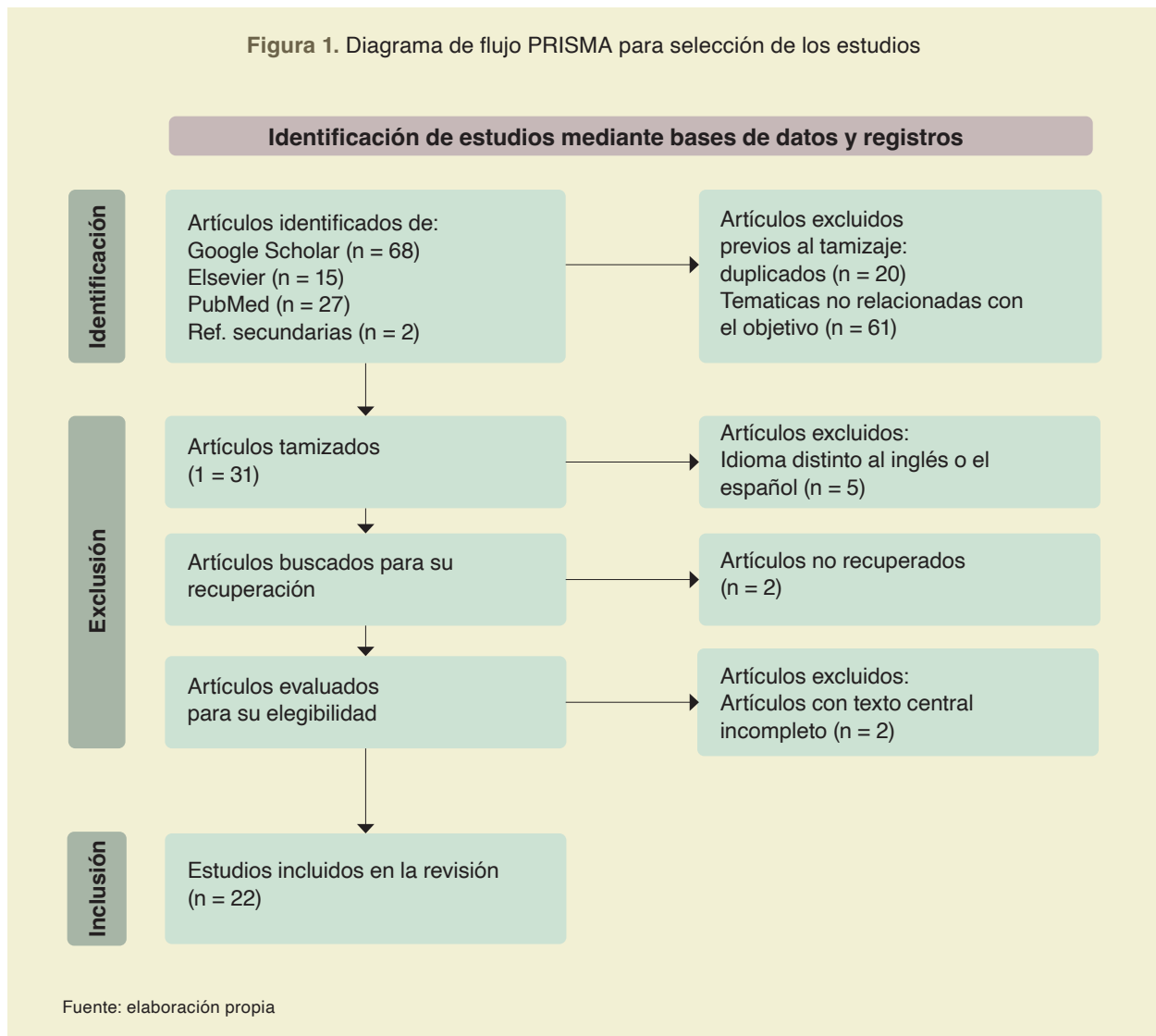


Tabla 1. Tabla de evidencia de los estudios incluidos en el texto

Datos del estudio	Tipo del estudio	Objetivos y/o tipo de intervención	Puntuación MERSQI	Resultados clave	Conclusiones
Curran et al, 2022 País: Canadá	Revisión integrativa	Analizar el uso de XR en la educación médica y su impacto.	N.A.	XR mejora la adquisición de habilidades, la retención del conocimiento y la confianza de los estudiantes.	La XR es una herramienta prometedora en educación médica, pero hay desafíos en su implementación.
Javvaji et al, 2024 País: Indonesia	Revisión narrativa	Revisar las aplicaciones de realidad virtual (VR) en salud, incluyendo educación y tratamiento clínico.	N.A.	VR es efectiva en educación, terapia del dolor y rehabilitación.	La VR ofrece beneficios en múltiples áreas médicas, pero requiere mayor accesibilidad.
Liu, 2024 País: China	Revisión narrativa	Explorar cómo la VR puede facilitar la transición entre la educación médica y la práctica clínica.	N.A.	La VR mejora la simulación y la toma de decisiones clínicas.	Se necesita más investigación para optimizar su uso en la educación médica.
Trinh et al, 2024 País: Estados Unidos	Revisión narrativa	Investigar la incorporación de la VR en la formación del Programa de Reanimación Neonatal (NRP).	N.A.	Se destacaron las ventajas y desafíos del uso de VR en NRP, comparando métodos tradicionales con simulaciones basadas en VR.	La VR puede mejorar la formación en NRP, pero se requieren más estudios para evaluar su efectividad.
Athanasopoulou et al, 2024 País: Estados Unidos Población: Paramédicos, técnicos y respondedores de emergencias médicas Muestra (N): 33 participantes.	Estudio descriptivo	Describir la adherencia de los proveedores prehospitalarios a las guías del Programa de Reanimación Neonatal utilizando "SimBox", una simulación novedosa aumentada con video.	10.0/18	Se observó una buena adherencia a las guías y una experiencia educativa positiva entre los participantes.	"SimBox" es una herramienta útil para evaluar y mejorar el rendimiento clínico y la experiencia educativa en la reanimación neonatal prehospitalaria
Wang et al, 2023 País: Estados Unidos Población: Proveedores de atención médica pediátrica Muestra (N): 270 participantes.	Estudio longitudinal	Modelar factores que predicen el uso de VR por parte de los proveedores de salud pediátrica como ansiolítico para pacientes hospitalizados.	9.0/18	La utilidad, la facilidad de uso y el disfrute son fuertes predictores de la adopción de la tecnología con VR.	El modelo fue válido y confiable para predecir la intención de uso de VR en hospitales pediátricos.
Ghoman et al, 2020 País: Canadá	Revisión sistemática	Evaluar el potencial de los "serious games" en la enseñanza de la reanimación neonatal.	N.A.	Los "serious games" pueden mejorar el conocimiento, habilidades y adherencia a algoritmos de reanimación en profesionales de la salud.	Estos juegos podrían ampliar el acceso a la educación basada en simulación en diversas áreas, pero se requieren más estudios sobre resultados clínicos en recién nacidos.
Ahmad et al, 2024 País: Reino Unido	Revisión sistemática	Evaluar la efectividad de la VR en la enseñanza de escenarios de manejo del trauma agudo.	N.A.	Se identificaron 13 estudios relevantes. La VR es un complemento útil en la enseñanza basada en el trauma, pero no un reemplazo para la simulación tradicional.	La evidencia actual sobre la VR como modalidad de enseñanza efectiva no es concluyente. Se necesitan estudios robustos con tamaños de muestra más grandes.

Continúa...

Datos del estudio	Tipo del estudio	Objetivos y/o tipo de intervención	Puntuación MERSQI	Resultados clave	Conclusiones
Batool et al, 2024 País: Pakistán	Revisión sistemática	Explorar el potencial del metaverso para mejorar la educación médica en países de bajos y medianos ingresos.	N.A.	El metaverso tiene potencial para mejorar la educación médica en estos países por medio de experiencias de aprendizaje inmersivas. Se propone un marco conceptual para integrar la tecnología del metaverso en la enseñanza.	Se conceptualiza el potencial transformativo del metaverso en la educación médica al abordar disparidades educativas. Es necesario un enfoque integral para superar desafíos como preocupaciones de privacidad y barreras financieras.
Zhao et al, 2021 País: China	Revisión sistemática con metaanálisis	Comparar las tasas de aprobación de exámenes de estudiantes de medicina utilizando VR y educación tradicional.	N.A.	Los estudiantes capacitados con VR obtuvieron mejores resultados que aquellos que recibieron educación médica tradicional.	La VR mejora la adquisición de conocimientos médicos y debe combinarse con métodos de enseñanza tradicionales.
Horiuchi et al, 2024 País: Australia	Revisión panorámica	Investigar el uso de tecnologías digitales en programas de formación sobre reanimación neonatal y manejo de complicaciones.	N.A.	Las plataformas de e-learning y aplicaciones móviles son comunes en países de ingresos bajos y medianos para la formación en reanimación neonatal, con buena aceptación por parte de los participantes.	Se requieren más estudios sobre los efectos a largo plazo y la rentabilidad de estas tecnologías en la educación y resultados de salud neonatal.
Mergen et al, 2024 País: Alemania	Revisión panorámica	Examinar el estado actual de la integración de la VR en la educación médica.	N.A.	Se identificaron diversas aplicaciones de VR en la educación médica, con impacto positivo en la simulación clínica.	La VR tiene potencial para mejorar la enseñanza médica, pero se necesita más estandarización y evaluación.
Zackoff et al, 2020 País: Estados Unidos Población: Estudiantes de Medicina de tercer año Muestra (N): 168 participantes.	Ensayo controlado aleatorizado	Evaluar el impacto de un plan de estudios con VR en el reconocimiento de los hallazgos clave del examen en la dificultad respiratoria en Pediatría.	15.0/18	El plan de estudios con VR mejoró el reconocimiento de los estudiantes de Medicina de la inminente insuficiencia respiratoria.	La VR inmersiva puede mejorar las habilidades de evaluación clínica para reconocer la dificultad respiratoria y la escalada de las necesidades de atención.
Umoren et al, 2021 País: Nigeria Población: Enfermeras Muestra (N): 274 participantes.	Ensayo controlado aleatorizado	Evaluar el impacto de simulaciones móviles de VR utilizando "electronic Helping Babies Breathe" (eHBB) o video para el mantenimiento de habilidades de reanimación neonatal en trabajadores de la salud en entornos con recursos limitados.	17.0/18	La formación eHBB VR fue altamente aceptada y puede proporcionar apoyo adicional para la retención de habilidades de reanimación neonatal en comparación con otras intervenciones digitales.	La VR móvil es una herramienta viable para la formación continua en reanimación neonatal en entornos con recursos limitados.
Ezenwa et al, 2022 País: Nigeria Población: Enfermeras Muestra (N): 179 participantes.	Análisis secundario de ensayo controlado aleatorizado	Explorar la viabilidad y eficacia educativa del uso de simulación VR móvil para la preparación previa al curso de profesionales de la salud en la formación de reanimación neonatal.	17.0/18	El uso de VR móvil fue factible y mejoró la preparación de los participantes para la formación presencial.	La simulación VR móvil puede ser una estrategia efectiva para la preparación previa en programas de formación en reanimación neonatal.

Continúa...

Datos del estudio	Tipo del estudio	Objetivos y/o tipo de intervención	Puntuación MERSQI	Resultados clave	Conclusiones
Zackoff et al, 2019 País: Estados Unidos Población: Estudiantes de medicina de tercer año Muestra (N): 78 participantes.	Estudio piloto prospectivo	Establecer la validez del proceso de respuesta a través de la evaluación del conocimiento de un plan de estudios con VR.	10.0/18	La VR inmersiva se percibe como una modalidad de entrenamiento efectiva para los estudiantes de Medicina, comparable a pacientes estandarizados y simulaciones de alta fidelidad.	La VR puede mejorar el entrenamiento clínico al simular con precisión escenarios de la vida real. Se necesita más investigación para evaluar su impacto en la práctica clínica.
Trinh et al, 2021 País: Estados Unidos Población: Proveedores de atención médica neonatal Muestra (N): 38 participantes.	Estudio piloto prospectivo	Introducir y evaluar una plataforma de simulación VR específica para neonatología en la formación del NRP.	12.5/18	Los proveedores completaron sesiones de formación individualizadas y encuestas posteriores, indicando una recepción positiva.	La plataforma VR es factible y bien recibida en la formación del NRP, pero se necesita más investigación para validar su eficacia.
Abulfaraj et al, 2021 País: Estados Unidos Población: Residentes de pediatría Muestra (N): 42 participantes.	Estudio piloto prospectivo	Comparar la eficacia de la VR y la simulación basada en maniqués para el manejo del estado epiléptico.	13.0/18	No se encontraron diferencias estadísticas en las acciones de tiempo hasta críticas entre la VR y grupos de simulación basados en maniqués.	La simulación con VR es factible para el entrenamiento clínico en el manejo del estado epiléptico. Se necesitan estudios más amplios para validar los hallazgos.
Perron et al, 2021 País: Australia Población: Estudiantes de pregrado de Medicina Muestra (N): 26 participantes.	Estudio prospectivo	Desarrollar y evaluar "Virtual Doc", una simulación VR inmersiva para enseñar resucitación cardiopulmonar pediátrica a estudiantes de medicina.	7.0/18	La simulación fue efectiva en la enseñanza de habilidades de resucitación cardiopulmonar pediátrica.	La VR es una herramienta prometedora en la educación médica pediátrica, pero se necesita más investigación para su implementación generalizada.
Botelho et al, 2025 País: Canadá Población: Cirujanos pediátricos, residentes de cirugía general, medicina de emergencia y practicantes generales Muestra (N): 11 participantes.	Estudio de validación	Evaluar la validez facial y de contenido de un software con VR para la educación en trauma pediátrico.	6.0/18	La simulación con VR fue considerada realista y beneficiosa por los médicos participantes. Mejoró las habilidades no técnicas más que las técnicas.	La simulación con VR es útil para la educación en trauma pediátrico, pero se necesita optimizar las sesiones de capacitación, en especial para minimizar el cibermareo.
Rodríguez & Maynar, 2024 País: España Población: Estudiantes de pregrado de Medicina Muestra (N): 776 participantes.	Estudio mixto	Explorar el potencial del metaverso como recurso para el aprendizaje de la Medicina.	6.0/18	El metaverso mejora la educación médica mediante la creación de entornos de aprendizaje inmersivos y simulaciones.	El metaverso es un recurso beneficioso para la educación médica, pero se necesita capacitación específica para los educadores.
Real et al, 2024 País: Estados Unidos Población: Residentes de último año de Pediatría Muestra (N): 15 participantes.	Estudio cualitativo de entrevistas semiestructuradas	Describir un plan de estudios basado en VR para el asesoramiento en seguridad de armas de fuego.	10.0/18	Los residentes de Pediatría reportaron que la VR es una modalidad aceptable para practicar habilidades de consejería en un entorno realista.	Las simulaciones con VR son un enfoque de capacitación factible para el asesoramiento de seguridad de armas de fuego entre los residentes de Pediatría.

Fuente: Elaboración propia a partir de la extracción doble e independiente de datos de los 22 artículos primarios y secundarios seleccionados para la revisión panorámica. Nota: La columna Puntuación MERSQI (Medical Education Research Study Quality Instrument) corresponde a la evaluación de la calidad metodológica de los estudios primarios, con una puntuación máxima de 18. Las revisiones secundarias (p. ej., revisiones sistemáticas o integrativas) se indican como "N. A." (No Aplicable) debido a la incompatibilidad de su diseño metodológico con el instrumento MERSQI.

De los 22 artículos, 12 fueron estudios primarios (54.5%) que incluyeron ensayos controlados aleatorizados (ECA, $n = 2$), estudios piloto prospectivos ($n = 5$), estudios descriptivos ($n = 1$), longitudinales ($n = 1$), de validación ($n = 1$), cualitativos ($n = 1$) y de métodos mixtos ($n = 1$). Los 10 estudios restantes (45.5%) fueron revisiones secundarias (sistemáticas, narrativas o panorámicas), las cuales no fueron elegibles para la evaluación de calidad MERSQI.

La distribución geográfica de la investigación fue predominantemente en países de altos ingresos, con la mayoría de los estudios (50%) realizados en Estados Unidos y Canadá. Solo un número limitado ($n = 3$) se centró en contextos de recursos limitados (Nigeria, Pakistán, Indonesia), principalmente enfocados en la reanimación neonatal.

La síntesis de las características de las muestras, un aspecto solicitado por la revisión, mostró que el tamaño de muestra promedio de los estudios primarios fue de 111.8 participantes (rango de 11 a 274 participantes). La población de estudio se centró predominantemente en la formación avanzada, incluyendo residentes de pediatría (2.33%) y proveedores prehospitalarios o trabajadores de la salud en formación avanzada (73.35%), mientras que un subgrupo menor se enfocó en estudiantes de medicina (24.33%).

La puntuación MERSQI promedio de calidad fue de 11.042/18. Se identificó que 2 estudios (16.67%) cumplieron con criterios de alta calidad metodológica (MERSQI $\geq 16.0/18$), siendo estos ECA enfocados en la formación en reanimación neonatal. El principal factor que influyó negativamente en la puntuación del MERSQI en la mayoría de los estudios piloto fue la ausencia de un seguimiento a largo plazo de los resultados clínicos y la falta de reporte explícito de validez de las herramientas de medición.

DISCUSIÓN

Uso general de la XR en educación médica

Consistentemente con la literatura emergente, se confirma que las tecnologías inmersivas, incluyendo la VR y la AR, mejoran sustancialmente tanto la adquisición de conocimientos como el desarrollo de competencias prácticas en medicina¹⁵. La inmersión que ofrecen estos entornos virtuales permite una práctica deliberada y repetitiva de procedimientos sin riesgo real, lo que potencia el desarrollo de des-

trezas psicomotoras finas (coordinación mano-ojo, precisión en gestos)¹⁶.

Más allá de las habilidades técnicas, la simulación mediante VR ha demostrado ser un catalizador para el desarrollo del juicio clínico y la toma de decisiones críticas. Varias revisiones señalan que el entrenamiento con VR mejora el pensamiento crítico y la toma de decisiones clínicas en los estudiantes, así como la confianza para ejecutar maniobras específicas¹⁷.

Un hallazgo destacable es la capacidad de la XR para fomentar una mayor retención del aprendizaje a largo plazo. Estudios controlados, como el ECA en Nigeria y Kenia, demuestran que la simulación con VR contribuye a una mejor conservación de habilidades cruciales, como la ventilación con mascarilla, incluso 6 meses después del entrenamiento, en comparación con métodos tradicionales². Esta capacidad de retención no solo abarca el conocimiento teórico sino también las habilidades prácticas¹⁸.

La accesibilidad emerge como otro beneficio preponderante, especialmente en el contexto de países en desarrollo y entornos con recursos limitados. La disponibilidad de modelos de VR de bajo costo y portátiles puede democratizar el acceso a una capacitación médica de alta calidad, superando barreras geográficas y económicas¹⁶ con un impacto positivo en la motivación y satisfacción de los estudiantes¹⁹.

La evidencia que sustenta el uso de la XR en educación médica es diversa en diseño metodológico, abarcando desde revisiones sistemáticas hasta ECA. Si bien trabajos como los sintetizados confirman los efectos positivos de VR/AR en el rendimiento y la participación estudiantil, es crucial reconocer la heterogeneidad en las medidas de resultados¹⁵. Los ECA, particularmente en el campo de la reanimación neonatal, ofrecen la evidencia comparativa más robusta. Sin embargo, muchos estudios piloto o prospectivos carecen de grupo control o tienen muestras pequeñas².

Por ejemplo, el estudio VR-NRP comparó un prototipo VR contra video 360° en 30 participantes, mostrando ventajas de presencia y confianza¹⁷. Asimismo, estudios piloto de plataformas VR para neonatos²⁰ presentan datos descriptivos de aceptación. Las diferencias metodológicas entre narrativas, scoping, ECA y estudios piloto se reflejan en

la robustez de sus conclusiones: los ECA aportan evidencia concreta de mejora en retención de habilidades, mientras que los estudios observacionales describen viabilidad y aceptación (SimBox, etc.) pero no cuantifican eficacia². Una limitación significativa de la literatura actual es la escasez de metaanálisis, lo cual se debe en gran parte a la heterogeneidad de las intervenciones y las poblaciones estudiadas, dificultando una síntesis definitiva de los resultados.

Contrastes en la evidencia y factores metodológicos

A pesar de los claros beneficios, la implementación generalizada de la XR enfrenta obstáculos considerables. El alto costo asociado al desarrollo de módulos inmersivos y la complejidad técnica, que demanda equipos especializados y equipos multidisciplinarios, continúan siendo barreras frecuentes, lo que encarece los proyectos y eleva el costo de hardware y mantenimiento¹⁶. A esto se suman las limitaciones en el realismo de los entornos virtuales, que rara vez replican con perfección la complejidad de los escenarios clínicos reales, a menudo careciendo de retroalimentación háptica, simplificaciones anatómicas o audio limitado¹⁶. Esta brecha en el realismo puede mermar la transferencia efectiva de habilidades al entorno clínico real.

Metodológicamente, se observa una preocupante falta de estandarización en los instrumentos de evaluación utilizados, lo que impide una comparación rigurosa entre las investigaciones y dificulta establecer conclusiones definitivas sobre la relación costo-beneficio y la eficacia de la XR¹⁶. Adicionalmente, pocas investigaciones fundamentan sus diseños en marcos teóricos de aprendizaje sólidos; falta, por ejemplo, fundamentos pedagógicos claros que guíen el diseño de la experiencia. Esto genera vacíos de evidencia respecto a cómo el aprendizaje inmersivo optimiza los procesos cognitivos más allá de los datos cuantitativos iniciales¹⁶.

Otro vacío crítico es la ausencia de estudios de seguimiento a largo plazo, lo que impide determinar si las mejoras observadas en el corto plazo se mantienen y se traducen en un mejor desempeño clínico real. Una revisión sistemática notó que casi ninguna investigación reporta retención de habilidades a largo plazo tras el entrenamiento VR¹⁶, lo

que señala la necesidad de estudios longitudinales. A nivel práctico, los efectos adversos, como el cibermareo (reportado hasta en un 40% en estudios piloto de VR neonatal)²⁰, y los desafíos para integrar estas tecnologías en currículos ya establecidos, junto con la necesidad de capacitar a los instructores, representan retos importantes. En conjunto, estas limitaciones indican que aún falta robustecer la investigación mediante ECA de mayor tamaño, medidas validadas y estándares comunes para medir el impacto educativo de VR/AR/XR.

Uso en evaluación y entrenamiento clínico en Pediatría

La XR está revolucionando la formación pediátrica al ofrecer entornos de simulación altamente realistas. Los estudios de Zackoff et al.^{5,9} demostraron que un 97.4% de los estudiantes consideraron clínicamente precisas las simulaciones por VR de la dificultad respiratoria en lactantes, con mejoras significativas en el reconocimiento de un cuadro clínico de insuficiencia respiratoria inminente (OR 2.1, IC 95% 1.4-3.2). Estos hallazgos son consistentes con la experiencia de Real et al.⁷ en residentes de Pediatría, quienes encontraron en la VR una modalidad aceptable para practicar habilidades de comunicación sobre el uso de armas de fuego en entornos realistas.

Es importante destacar que estudios comparativos entre simuladores de alta fidelidad y de bajo costo para el manejo de la vía aérea pediátrica no han encontrado diferencias significativas en la calidad de la simulación ni en el impacto educativo²¹. Esto sugiere que alternativas más económicas pueden ser igualmente viables. Los modelos de simulación híbridos, que combinan tecnología portátil con actores humanos²², pueden ser tan efectivos como los simuladores de alta fidelidad, ofreciendo un contexto superior para las interacciones paciente-cuidador.

Sin embargo, en este campo también persisten brechas en la evaluación estandarizada. Aunque algunos estudios emplean rúbricas validadas, como Zackoff et al.⁵, muchos carecen de métricas comparables. La promesa clínica de la XR es innegable: en reanimación neonatal, la VR ha alcanzado tasas de aprobación del 76% en ECOE, superando los métodos tradicionales y demostrando alta aceptabilidad entre los trabajadores de la salud en países de in-

gresos bajos y medianos². Esto confiere a la XR un considerable impacto social, al facilitar la formación de calidad en regiones con acceso limitado a centros de simulación avanzados. No obstante, se requieren más estudios que evalúen su transferencia a la práctica real y los efectos a largo plazo en la adquisición y retención de habilidades²³.

Contrastes en la evidencia y factores metodológicos

A pesar de los claros beneficios de la XR, la evidencia sobre su superioridad frente a la simulación tradicional o basada en maniqués no es uniforme, lo que exige un análisis crítico de los resultados conflictivos. La comparación con métodos convencionales revela contrastes significativos que dependen de la naturaleza de la habilidad evaluada. Hsu et al.⁸ ha posicionado a la XR como una alternativa competitiva frente a métodos convencionales, reportando diferencias estadísticamente significativas en evaluaciones ECOE entre grupos VR (15 ± 3 puntos) y no-VR (10 ± 3 puntos; $p = 0.003$), además de mayor motivación de aprendizaje.

Esta superioridad es consistente con los hallazgos de Botelho et al.²⁴, cuyo estudio de validación demostró que la simulación con VR mejoró efectivamente las habilidades no técnicas más que las técnicas entre los médicos participantes. Estos resultados se replican en el ámbito teórico: un metaanálisis de 2021²⁵ encontró una diferencia significativa en las tasas de aprobación de exámenes entre VR y educación tradicional para estudiantes de medicina, indicando el potencial de la XR para la adquisición de conocimientos.

No obstante, la XR no supera universalmente a los métodos tradicionales. El estudio conducido por Abulfaraj et al.²⁶ no encontró diferencia significativa en el rendimiento (acciones de tiempo hasta críticas) entre la VR y los grupos de simulación basada en maniqués.

Esta dicotomía en la evidencia sugiere una limitación fundamental en que la VR es superior para el aprendizaje cognitivo y las habilidades no técnicas (diagnóstico, liderazgo, comunicación), mientras que los simuladores de alta fidelidad con maniqués son igualmente efectivos, o en ocasiones preferibles, para el entrenamiento de habilidades psicomotoras

puras. Las posibles razones de esta contradicción se anclan en la heterogeneidad metodológica y las barreras técnicas: la falta de retroalimentación háptica y las simplificaciones anatómicas en el hardware pueden restringir la transferencia de habilidades motrices finas.

Implementación y barreras en la adopción de la XR

En lo que respecta a los desafíos en materia de adopción de nuevas tecnologías, se ha encontrado una alta motivación e interés de los estudiantes¹³. Los factores predictores vistos por Wang et al.⁶ acerca de la adopción de la tecnología VR dependen de la percepción de disfrute, facilidad de uso y utilidad.

No obstante, estos factores se ven directamente socavados en países de bajos y medianos recursos. La brecha crítica en la infraestructura (acceso intermitente a energía eléctrica, inestabilidad de la conexión a internet, falta de personal técnico cualificado) limita drásticamente la escalabilidad y la fiabilidad de las soluciones de XR.

El realismo de los entornos virtuales rara vez replica con perfección la complejidad de los escenarios clínicos reales y se encuentra una preocupante falta de estandarización metodológica en los instrumentos de evaluación que se utilizan con diseños que escasamente tienen marcos teóricos de aprendizaje sólidos y seguimiento a largo plazo¹⁶, lo que impide determinar si las mejoras observadas se mantienen y se traducen en un mejor desempeño clínico real.

Los efectos adversos, como el cibermareo (reportado hasta en un 40% en estudios piloto de VR neonatal)²⁰, y los desafíos para integrar estas tecnologías en currículos ya establecidos, representan retos importantes. En conjunto, estas limitaciones indican que aún falta robustecer la investigación mediante ECA de mayor tamaño, medidas validadas y estándares comunes para medir su impacto educativo.

Uso del metaverso en educación médica

En una cohorte de 776 estudiantes de medicina, Rodríguez & Maynar¹¹ informaron acerca del desarrollo de consejos prácticos para el aprendizaje efectivo en el metaverso, destacando el entusiasmo percibido y la necesidad de una capacitación específica para que los educadores manejen tecnologías inmersivas. El



metaverso representa el nuevo destino evolutivo de la XR para la Pediatría, al verse que puede transformar la educación médica al abordar las disparidades educativas en los países de bajos y medianos recursos a través de experiencias de aprendizaje inmersivas, proponiendo el papel crucial que tiene revisar las preocupaciones de privacidad y barreras financieras en la implementación de esta estrategia²⁷.

Propuestas críticas de aplicación

Aunque la evidencia actual es prometedora, revela que la implementación efectiva de la XR en la educación médica pediátrica debe ir más allá de la mera adquisición tecnológica al necesitar una inversión estratégica en el desarrollo de contenidos pedagógicamente diseñados y adaptados a las necesidades locales. Con tal fin, se proponen las siguientes 5 líneas de acción:

1. Desarrollo curricular integrado: La XR no debe ser un complemento aislado, sino una herramienta transversal incorporando módulos específicos de XR.
2. Estandarización de métricas y contenidos: Es menester establecer guías nacionales o regionales de acceso abierto para la validación de sus resultados.
3. Formación docente especializada: La capacitación de los educadores es crucial para el diseño de experiencias de aprendizaje inmersivas y la evaluación de competencias.
4. Investigación longitudinal y cualitativa: Es necesaria para conocer la retención de habilidades a largo plazo y el impacto real de la XR en el desempeño clínico.
5. Modelos híbridos y de bajo costo: Dada la realidad de los recursos y la brecha en infraestructura en muchos países latinoamericanos, la apuesta por modelos de simulación híbridos (combinando XR de bajo costo con simuladores físicos o actores) y el desarrollo de soluciones XR móviles es una estrategia escalable. Es fundamental fomentar la colaboración interinstitucional para compartir recursos, software y experiencias exitosas, facilitando la replicabilidad y el acceso a la formación de alta calidad en contextos de recursos limitados.

Así las cosas, estamos ante una revolución en la educación médica pediátrica; sin embargo, para capitalizar plenamente su potencial y superar las barreras actuales, se requiere un enfoque holístico que integre el desarrollo tecnológico con un diseño pedagógico riguroso, estandarización de procesos e investigación continua y adaptada a las necesidades contextuales, cuya adopción estratégica puede no solo mejorar la calidad de la formación médica, sino también reducir las disparidades en el acceso a la capacitación de alta calidad en regiones con escasos recursos.

Fortalezas del estudio

La principal fortaleza de esta revisión panorámica radica en su enfoque sistemático y la adhesión a las guías PRISMA-ScR, lo que confiere robustez a la identificación y síntesis de la evidencia. La evaluación de la calidad metodológica de los estudios primarios mediante el MERSQI y la inclusión de un amplio rango de diseños de estudio y la exploración de las barreras de implementación, particularmente en entornos de recursos limitados, aumentan considerablemente su relevancia práctica y capacidad de informar políticas educativas globales.

Limitaciones del estudio

Este estudio cuenta con ciertas limitaciones metodológicas y contextuales que deben considerarse al interpretar los resultados, tales como la gran variabilidad y falta de estandarización instrumental utilizada entre los estudios primarios revisados, lo que dificulta la comparación rigurosa de los hallazgos y limita la realización de un metaanálisis concluyente y la generalización de los resultados obtenidos.

Asimismo, aunque el período de búsqueda se justificó para priorizar la evidencia más reciente y relevante desde la emergencia tecnológica en esta temática, esta delimitación pudo excluir literatura seminal y teórica importante. Igualmente, en tanto la naturaleza del estudio, su alcance no incluye una revisión de calidad tan estricta como la de una revisión sistemática tradicional y, si bien se utilizó el MERSQI para los estudios primarios, la conclusión no depende estrictamente de la agregación de solo ECA, lo que reduce la robustez general de las conclusiones sobre la eficacia.

CONCLUSIONES

La XR se posiciona firmemente como un complemento transformador en la educación médica pediátrica, ofreciendo ventajas significativas en la creación segura de entornos de simulación y la expansión de la accesibilidad formativa, que, para trascender su fase experimental y lograr una adopción generalizada y efectiva, es necesario establecer marcos estandarizados robustos, impulsar estudios longitudinales que validen su impacto a largo plazo, y desarrollar enfoques pedagógicos sólidos que guíen su implementación.

Su integración curricular debe ser diseñada con una visión estratégica que priorice la equidad en el acceso, mitigue proactivamente las barreras técnicas identificadas, y combine de manera sinérgica las ventajas que conlleva junto con los métodos educativos tradicionales. Solo así se maximizará tal potencial para revolucionar y enriquecer la formación médica, preparando a futuras generaciones de profesionales pediátricos con competencias clínicas y no técnicas de excelencia, en consonancia con las demandas de la práctica moderna.

CONTRIBUCIÓN INDIVIDUAL

Los autores declaran su completa autoría del artículo como parte del programa de Educación Médica de la Universidad de La Sabana.

PRESENTACIONES PREVIAS

Ninguna.

FINANCIAMIENTO

Los autores declaran no haber recibido financiación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran ningún conflicto de intereses.

DECLARACIÓN DE IA

Durante la realización de este trabajo, los autores utilizaron Gemini 2.5 Flash para asistencia en la corrección de estilo y estructura del manuscrito. Después de usar esta herramienta, los autores revisaron y editaron el contenido según fuese necesario y asumen toda la responsabilidad por el contenido de la publicación. 🔍

REFERENCIAS

1. Iqbal S, Ahmad S, Akkour K, Wafa ANA, AlMutairi HM, Aldhufairi AM. Review article: Impact of Artificial Intelligence in Medical Education. *MedEdPublish*. 2021; (1):10.
2. Umoren R, Bucher S, Hippe DS, Ezenwa BN, Fajolu IB, Okwako FM, et al. eHBB: a randomised controlled trial of virtual reality or video for neonatal resuscitation refresher training in healthcare workers in resource-scarce settings. *BMJ Open*. 2021;(8):e048506.
3. Hart JA, Chilcote DR. "Won't You Be My Patient?": Preparing Theater Students as Standardized Patients. *J Nurs Educ*. 2016;(3):168–71.
4. Athanasopoulou SG, Cicero M, Sanseau E, Kou M, Auerbach M. Use of a SimBox, a Video-Augmented, Newborn Resuscitation Simulation for Prehospital Providers to Measure Clinical Performance and Educational Experience. *Cureus*. 2024;(4):e57925.
5. Zackoff MW, Real FJ, Sahay RD, Fei L, Guiot A, Lehmann C, et al. Impact of an Immersive Virtual Reality Curriculum on Medical Students' Clinical Assessment of Infants With Respiratory Distress. *Pediatr Crit Care Med*. 2020;(5):477–85.
6. Wang EY, Kennedy KM, Zhang L, Qian D, Forbes T, Zuniga-Hernandez M, et al. Predicting pediatric healthcare provider use of virtual reality using a technology acceptance model. *JAMIA Open*. 2023;(3).
7. Real FJ, Griggs C, March M, Masiakos PT, Meisman A, Felopulos G, et al. Feasibility and Acceptability of a Virtual Reality Curriculum to Support Firearm Safety Counseling Skills Among Pediatric Residents. *J Grad Med Educ*. 2024;(6):740–6.
8. Hsu WJ, Tang YH, Chen WC, Lee YS, Tsao PC, Chen WY, et al. Comparison between virtual reality and traditional lecture methods in educating respiratory therapy students on pediatric difficult airway diseases. *J Chin Med Assoc*. 2025;(3):205–210.
9. Zackoff MW, Real FJ, Cruse B, Davis D, Klein M. Medical Student Perspectives on the Use of Immersive Virtual Reality for Clinical Assessment Training. *Acad Pediatr*. 2019;(7):849–51.
10. Ezenwa BN, Umoren R, Fajolu IB, Hippe DS, Bucher S, Purkayastha S, et al. Using Mobile Virtual Reality Simulation to Prepare for In-Person Helping Babies Breathe Training: Secondary Analysis of a Randomized Controlled Trial (the eHBB/mHBS Trial). *JMIR Med Educ*. 2022;(3):e37297.
11. Rodriguez-Flrido MA, Maynar M. Practical tips for teaching medicine in the metaverse. *MedEdPublish*. 2024;(14):54.
12. Perron JE, Coffey MJ, Lovell-Simons A, Dominguez L, King ME, Ooi CY. Resuscitating Cardiopulmonary Resuscitation Training in a Virtual Reality: Prospective Interventional Study. *J Med Internet Res*. 2021;(7):e22920.
13. Lloyd J, Akhtar S, Balaji P. Identifying the barriers faced by medical students using virtual reality simulation. *Discover Education*. 2023;(1).
14. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun

- H, Levac D, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Ann Intern Med*. 2018;(7):467-473.
15. Fugate JMB, Tonsager MJ, Macrine SL. Immersive Extended Reality (I-XR) in Medical and Nursing for Skill Competency and Knowledge Acquisition: A Systematic Review and Implications for Pedagogical Practices. *Behav Sci (Basel)*. 2025;(4):468.
 16. Mergen M, Graf N, Meyerheim M. Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education - a scoping review. *BMC Med Educ*. 2024;(1):788.
 17. Aydin MY, Curran V, White S, Peña-Castillo L, Meruvia-Pastor O. VR-NRP: A development study of a virtual reality simulation for training in the neonatal resuscitation program. *Digit Health*. 2025;(11).
 18. Liu K, Zhang W, Li W, Wang T, Zheng Y. Effectiveness of virtual reality in nursing education: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med Educ*. 2023;(1).
 19. Tene T, Vique López DF, Valverde Aguirre PE, Orna Puente LM, Vacacela Gomez C. Virtual reality and augmented reality in medical education: an umbrella review. *Front Digit Health*. 2024;(6):1365345.
 20. Trinh G, McAdams RM. A pilot study of a virtual reality-based simulation platform for Neonatal Resuscitation Program training. *J Perinatol*. 2025 Apr;45(4):521-526.
 21. Lejus-Bourdeau C, Pousset F, Magne C, Bazin O, Grillot N, Pichenot V. Low-cost versus high-fidelity pediatric simulators for difficult airway management training: a randomized study in continuing medical education. *Braz J Anesthesiol*. 2023;(3):250-257.
 22. Brown WJ, Tortorella RAW. Hybrid medical simulation – a systematic literature review. *Smart Learn. Environ*. 2020; 7(1):16.
 23. Huang J, Tang Y, Tang J, Shi J, Wang H, Xiong T, et al. Educational efficacy of high-fidelity simulation in neonatal resuscitation training: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med Educ*. 2019;(1):323.
 24. Botelho F, Ashkar S, Kundu S, Matthews T, Guadagno E, Poenaru D. Virtual Reality for Pediatric Trauma Education - A Preliminary Face and Content Validation Study. *J Pediatr Surg*. 2025;(1):161951.
 25. Zhao G, Fan M, Yuan Y, Zhao F, Huang H. The comparison of teaching efficiency between virtual reality and traditional education in medical education: a systematic review and meta-analysis. *Ann Transl Med*. 2021;(3):252–252.
 26. Abulfaraj MM, Jeffers JM, Tackett S, Chang T. Virtual Reality vs. High-Fidelity Mannequin-Based Simulation: A Pilot Randomized Trial Evaluating Learner Performance. *Cureus*. 2021;(8):e17091.
 27. Zaidi SSB, Adnan U, Lewis KO, Fatima SS. Metaverse-powered basic sciences medical education: bridging the gaps for lower middle-income countries. *Ann Med*. 2024;(1).