

**La integración de la realidad aumentada en la enseñanza
médica: una revisión bibliográfica narrativa de la situación
actual**

**Autor: Oswaldo Sebastián Huilca Villena
Tutor: Francisco José García Ull**

Trabajo Final de Máster
2022/23

Máster Universitario en Educación Universitaria



**Universidad
Europea VALENCIA**

RESUMEN

Esta revisión de alcance proporcionó una descripción general de la literatura sobre la implementación de realidad virtual en educación en profesiones de la salud. Se realizó una búsqueda en las bases de datos PubMed, Medline y Science Direct utilizando el método PRISMA para revisiones de alcance. Los resultados indican que la implementación de realidad virtual en educación en profesiones de la salud es un campo nuevo y poco explorado. Se encontraron recomendaciones sobre participación colaborativa, disponibilidad, gastos, pautas, tecnología, diseño y capacitación. Una capacitación bien planificada puede mejorar las habilidades cognitivas y la participación colaborativa con usuarios finales puede garantizar una implementación exitosa. Se sugiere seguir investigando estrategias viables y efectivas para implementar realidad virtual en educación en profesiones de la salud.

Palabras clave: Realidad Aumentada; Educación; Profesiones de la Salud; Implementación; Revisión Bibliográfica.



ABSTRACT

This scoping review provided an overview of the literature on the implementation of virtual reality in health professions education. A search of PubMed, Medline, and Science Direct databases was performed using the PRISMA method for scoping reviews. The results indicate that the implementation of virtual reality in education in health professions is a new and little explored field. Recommendations were found on collaborative participation, availability, expenses, guidelines, technology, design and training. Well-planned training can improve cognitive skills, and collaborative engagement with end users can ensure a successful implementation. It is suggested to continue investigating viable and effective strategies to implement virtual reality in health professions education.

Keywords: Augmented Reality; Education; Health Professions; Implementation; Bibliographic review.



ÍNDICE

ÍNDICE	4
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Tendencias actuales en el uso de la Realidad Aumentada.....	6
2.2. Uso de la realidad aumentada para los propósitos educativos.....	11
2.2.1. Uso de la realidad aumentada en la enseñanza de medicina.....	13
2.2.2. Oportunidades para mejorar la enseñanza de medicina.	14
2.2.2.1. Beneficios de la RA en la comprensión de la anatomía humana	16
2.2.2.2. Beneficios de la RA en la simulación de procedimientos médicos... ..	17
2.2.2.3. RA en la simulación de casos clínicos y el desarrollo de habilidades de toma de decisiones	18
2.2.2.4. La RA en la mejora de la comunicación entre estudiantes y pacientes	21
3. OBJETIVOS	22
3.1. Objetivo general	22



3.2. Objetivos específicos	22
4. METODOLOGÍA	24
4.1. Diseño de la investigación	24
4.2. Revisión bibliográfica de alcance	25
4.2.1. Sección: Identificación de la pregunta de investigación	26
4.2.2. Sección: Identificación de estudios relevantes	27
4.2.3. Sección: Selección de los manuscritos	28
4.2.3.1. Criterios de inclusión/exclusión.....	28
4.2.4. Etapa: Extracción de la información (Instrumento de recolección):	31
4.2.5. Etapa: manejo y presentación de la información (metodología de abordaje y análisis).....	31
5. RESULTADOS/ DISCUSIÓN	33
5.1 Resultados del empleo de la realidad aumentada en el aprendizaje de las carreras médicas.	35
5.2. Desafíos y limitaciones en la implementación de RA en la enseñanza de la medicina.....	38
5.3. Impacto de la realidad aumentada en la adquisición y el desarrollo de habilidades prácticas y clínicas.....	45



5.4. Desafíos y tendencias a futuro de la RA en la formación de médicos.....	49
6. CONCLUSIONES	53
7. BIBLIOGRAFÍA.....	57
Anexos.....	93
Anexos 1: Formulario base de recolección de datos para la revisión narrativa de alcance	93



**Universidad
Europea** VALENCIA

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Usos y áreas de desarrollo de la RA	10
Tabla 2. Características de los estudios seleccionados.....	36
Tabla 3. Características de los estudios seleccionados.....	39



**Universidad
Europea** VALENCIA

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de cribado y selección de estudios..... 34



1. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada (RA o RA por sus siglas en inglés) es una tecnología que mejora el mundo real con información digital, como imágenes, videos y sonido (Yeh & Tseng, 2020). Esta información se superpone a la visión del usuario del mundo real, creando una experiencia de realidad mejorada o "aumentada".

En la educación universitaria, la RA se puede utilizar para mejorar la experiencia en el aula al proporcionar a los estudiantes experiencias de aprendizaje interactivas y de inmersión (Gargrish et al., 2021). Por ejemplo, la RA se puede usar para crear simulaciones de laboratorio virtual que permiten a los estudiantes realizar experimentos y explorar conceptos científicos en un entorno seguro y controlado (Voit et al., 2019). También se puede usar para crear ayudas visuales interactivas que facilitan la comprensión de conceptos complejos y para mejorar las excursiones y otras experiencias prácticas de aprendizaje (Cowin, 2020).

Además, la RA también se puede usar en el aprendizaje en línea, así como en el aprendizaje combinado, donde se puede usar para crear videos interactivos y simulaciones para apoyar el aprendizaje (Mumtaz et al., 2017). En general, RA tiene el potencial de hacer que la educación sea más atractiva y efectiva para los estudiantes, y de ayudarlos a desarrollar las habilidades y el conocimiento que necesitan para tener éxito en el siglo XXI.

La tecnología de Realidad Aumentada ha ganado popularidad en los últimos años, con aplicaciones en diversas industrias (Y. Chen et al., 2019), como la atención médica (Klinker et al., 2020), la educación (Al-hassan et al., 2020) y el entretenimiento (Hung et al., 2021). En el campo de la medicina, la RA tiene el



potencial de revolucionar la forma en que se enseña y capacita a los estudiantes de medicina (Munzer et al., 2019). El uso de RA en la enseñanza universitaria de la medicina permite una experiencia de aprendizaje más interactiva, atractiva y realista para los estudiantes (Ma et al., 2016). Esta tecnología puede proporcionar a los estudiantes un enfoque práctico del aprendizaje y ayudarlos a visualizar conceptos y procedimientos médicos complejos de una manera que los métodos de enseñanza tradicionales no pueden.

Así mismo, una de las principales ventajas de la RA en la educación médica es la capacidad de brindar a los estudiantes una visión realista de la anatomía y fisiología humana (Birbara et al., 2020; Narang et al., 2023). Los estudiantes de medicina pueden usar RA para explorar el cuerpo en un entorno virtual y observar los diferentes sistemas y estructuras del cuerpo con gran detalle. Esto puede ayudar a los estudiantes a comprender los conceptos que están aprendiendo de una manera más holística, al ver cómo los diferentes sistemas interactúan entre sí.

La RA también se puede utilizar para simular procedimientos médicos y cirugías (Mirchi et al., 2020). Los estudiantes de medicina pueden usar la RA para practicar la realización de procedimientos como disecciones, suturas e intubaciones en un entorno seguro y controlado. Esto puede ayudar a los estudiantes a desarrollar sus habilidades y ganar confianza en sus habilidades antes de que se les requiera realizar estos procedimientos en pacientes reales.

De igual forma, esta tecnología permite a los estudiantes de medicina explorar entornos virtuales, como un hospital o la habitación de un paciente, e interactuar con pacientes virtuales (Ibañez-Etxeberria et al., 2020). Esto puede ayudar a los estudiantes a comprender el contexto en el que se realizan los procedimientos



médicos y desarrollar sus habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que, si bien la tecnología de RA tiene un gran potencial en el campo de la educación médica, todavía es una tecnología relativamente nueva y se necesita más investigación y desarrollo para aprovechar al máximo su potencial. Además, es importante asegurarse de que el uso de la tecnología de RA en la educación médica se realice de manera responsable, con las garantías adecuadas para proteger la privacidad y la confidencialidad del paciente.

En conclusión, el uso de RA en la enseñanza universitaria de medicina tiene el potencial de revolucionar la forma en que se enseña y capacita a los estudiantes de medicina, proporcionando una experiencia de aprendizaje más interactiva, atractiva y realista. Con más investigación y desarrollo, es posible aprovechar completamente el potencial de la tecnología de RA en el campo de la educación médica, pero también es importante usarla de manera responsable para proteger la privacidad y la confidencialidad del paciente.

Existen varias limitaciones en el uso de la realidad aumentada en la educación universitaria. Una de las principales es el costo de la tecnología y la falta de accesibilidad para estudiantes y docentes (Venkatesan et al., 2021). Muchas universidades y escuelas carecen de los recursos para comprar e implementar la tecnología de RA, que puede ser costosa y requiere equipos y software especializados. Además, a menudo hay una falta de capacitación y apoyo para los educadores que utilizan la tecnología de RA en el aula, lo que puede dificultarles la integración efectiva en su enseñanza.



Otra limitación de la RA en la educación universitaria es que actualmente hay una cantidad limitada de investigación sobre la efectividad de la RA como herramienta de enseñanza (Tang et al., 2022). Si bien hay algunos estudios que sugieren que RA puede ser beneficioso para el aprendizaje, todavía se necesita más investigación para comprender la mejor manera de usar la RA en diferentes contextos educativos y determinar su impacto en los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Además, existe la necesidad de establecer las mejores prácticas y pautas para el uso de la RA en la educación, así como la investigación sobre las implicaciones éticas del uso de la RA en estos entornos.

Además, dado que la tecnología de RA aún es relativamente nueva, su impacto a largo plazo en el proceso de aprendizaje no se comprende completamente. Es necesario realizar más investigaciones sobre cómo esta tecnología afecta el proceso cognitivo, los resultados del aprendizaje y la participación general de los estudiantes.

En general, si bien la RA tiene el potencial de mejorar la educación universitaria, se necesita más investigación para comprender completamente su potencial y limitaciones, así como para establecer las mejores prácticas para su uso en el aula.



2. MARCO TEÓRICO

Hay varias definiciones de RA, dependiendo de cómo mejora nuestro entorno con información agregada artificialmente y si uno puede interactuar con esta información (Carmigniani & Furht, 2011).

La RA es una variación de la Realidad virtual (RV o VR por sus siglas en inglés) (Azuma, 1997). A diferencia de la RV, un usuario de un sistema de RA siempre experimenta su propia realidad y en tiempo real. Un sistema de realidad virtual siempre tiene una característica sintética e imita la realidad en lugar de “complementar el mundo real” (Boud et al., 1999), aunque existen sistemas de RV que imitan a la RA mediante el uso de cámaras que muestran al usuario su entorno aumentado con información adicional. Azuma y col. (1997) informaron que un entorno de realidad virtual es uno completamente sintético que separa al usuario de la realidad.

Otro término utilizado en este contexto es el de realidad mixta (RM o MR, por sus siglas en inglés), que podría explicarse como una mezcla entre realidad y virtualidad tal como lo explican en su trabajo Milgram y col. (1995), estos autores explican que la RM muestra la realidad en un extremo y RV en el otro extremo, con RA y virtualidad aumentada entre los dos extremos.

Desde un punto de vista histórico, el primer acercamiento a la RA fue dado por “Sensorama”, una máquina que se suponía que debía proporcionar una experiencia cinematográfica con todos los sentidos (Carmigniani & Furht, 2011). Esta máquina, fue desarrollada por Heilig en la década de 1950 y se convirtió en la primera



referencia documentada a RA, aunque en ese momento no había distinción entre RA y RV.

Ya por finalizar la década de los 60, fue diseñada y presentada una pantalla montada en la cabeza (HMD por sus siglas en inglés), que hizo posible experimentar entornos de RA y RV por primera vez (Sutherland, 1968). La primera referencia a RA como término la hizo Caudell en el año 1990, quien era investigador de Boeing para entonces (Lee, 2012). Dos años después, Caudell y Mizell (1992) desarrollaron un prototipo inicial que permitía a los técnicos proyectar planos sobre una superficie.

Con la invención de los dispositivos portátiles como los teléfonos inteligentes y las tabletas, surgieron oportunidades para llegar a un público más amplio. En 2013, Google presentó Google Glass, un HMD que brinda interacción de manos libres a través de una interfaz de voz y permite al usuario llamar, enviar mensajes de texto o buscar en Internet. En 2015, Microsoft presentó HoloLens; este dispositivo permite ver e interactuar con objetos virtuales 3D holográficos a través de la voz, la mirada y los gestos.

2.1. Tendencias actuales en el uso de la Realidad Aumentada

Son variadas las distintas aplicaciones que se le puede dar a la RA, una de estas, que ha sido muy explotada en la asociada con la llamada “Experiencia inmersiva”, la misma, se ha abierto un gran campo en el área del turismo ya desde hace un tiempo. La experiencia inmersiva, se refiere a la sensación de presencia real dentro de un entorno virtual que surge de los elementos de diseño del entorno



mediado por computadora que caracterizan la viveza, la naturalidad, la capacidad de control y el disfrute (Tcha-Tokey et al., 2016).

El contenido virtual se coloca sobre el entorno físico para crear una realidad aumentada; contra el telón de fondo total donde lo físico va con la virtualidad superpuesta, la experiencia inmersiva eleva el realismo percibido y provoca respuestas favorables al entorno de realidad aumentada (Scholz & Smith, 2016).

Al respecto, varios autores han reportado el creciente uso de la RA basada en generar experiencia inmersiva en el ámbito de turismo para ofrecer a las personas la oportunidad de conocer lugares o características de estos, se ha expandido mucho y ha alcanzado una muy buena aceptación (Cranmer et al., 2018; Georgiou & Kyza, 2017; Miller & Clark, 2018).

En la industria minorista, se demostró que las aplicaciones de RA/RV están evolucionando rápidamente y se utilizan cada vez más en los últimos años (Javornik, 2016; McCormick et al., 2014). Dacko (2017), analizó cuantitativamente más de 250 aplicaciones móviles de Realidad Aumentada (MAR por sus siglas en inglés) para compras. Los resultados demostraron que las MAR son beneficiosas para la industria minorista y presentó acciones para aprovechar las MAR para la venta minorista inteligente.

Además de las industrias antes mencionadas, la RA también se ha implementado en la industria minera, en estos casos, una solución de RA, apoyada en la RV ayudó a mejorar la salud laboral de los trabajadores de una mina de carbón mediante la presentación de un estudio piloto en el que los trabajadores fueron capacitados por profesionales especializados en seguridad laboral (Grabowski & Jankowski, 2015). Probaron diferentes sistemas de captura de movimiento,



pantallas montadas en la cabeza (HMD), joysticks como métodos de entrada y escenarios de entrenamiento y compararon los resultados. Los resultados mostraron que la tecnología RV puede ser una plataforma muy efectiva, sustituir la capacitación en el sitio y evitar que los aprendices se expongan a los peligros y riesgos que son comunes en un entorno minero.

Otro investigador (Zhang, 2017), desarrolló un sistema de entrenamiento basado en RV para la industria minera y demostró que tener más inmersión usando dispositivos puede mejorar los sistemas de entrenamiento.

Las tecnologías RA/RV han recibido mucha atención en la industria de la salud debido a sus capacidades de inmersión. Un grupo de investigadores realizaron un estudio de caso con más de 500 pacientes hospitalizados (Mosadeghi et al., 2016), a los cuales, les mostraron simulaciones de realidad virtual para reducir el nivel de estrés.

Tashjian y col. (2017) diseñaron un experimento similar pero solo con 50 pacientes. A estas personas, se les mostró una simulación de realidad virtual de 15 minutos llamada Pain RelieVR. Esta simulación está diseñada de manera que puede reducir el estrés a través de una experiencia similar a la de un juego. Los resultados de este experimento indican que la realidad virtual puede reducir significativamente el dolor en comparación con las condiciones de distracción de control tradicionales.

En una revisión sistemática sobre el tema realizado en el año 2017, los investigadores revisaron las aplicaciones de la RA/RV en la industria de la salud publicados entre los años 2005 y 2015 y concluyeron que estas había mostrado más éxito en tres áreas: trastornos alimentarios, manejo del dolor y rehabilitación



cognitiva y motora (Dascal et al., 2017). También se ha investigado el potencial del uso de AR/VR en neurocirugía (Pelargos et al., 2017), y en ese caso, se llegó a la conclusión de que la industria de la salud necesita más herramientas RA/RV con fines educativos.

También hay muchos investigadores en educación que han estudiado la tecnología RA/RV y la gran cantidad y variedad de trabajos científicos al respecto son comunes de ubicar en los buscadores de literatura científica actuales. Al respecto, en una revisión sistemática se presentó una revisión exhaustiva del uso, los desafíos y las ventajas de la tecnología de RA en la industria de la educación (Akçayır & Akçayır, 2017). En esta, determinaron que la RA puede mejorar los logros de aprendizaje y motivar a los estudiantes.

Otros investigadores desarrollaron un sistema de enseñanza basado en RA (Wei et al., 2015). Y con este, demostraron que el proceso de enseñanza empleando su aplicación basada en RA, aumenta la motivación de los estudiantes y mejora la innovación y la creatividad de los resultados de diseño en un curso de diseño.

En una revisión sistemática que abarco desde el año 2001 al 2019, y que indagó sobre las aplicaciones e investigaciones de la RA, encontró que el principal enfoque que hasta ese momento se daba al uso y la aplicación de la RA fue el asociado a la educación (Tezer et al., 2019), sin embargo, esta no fue la única en la que se orientó su uso, sino que encontraron una muy amplia variedad de áreas (**Tabla 1**).



Tabla 1. Usos y áreas de desarrollo de la RA

Áreas de estudio/implementation de la RA (entre los años 2001 a 2019)	% de reportes científicos asociados al área
TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS	21.2
INGENIERÍA	16.7
CIENCIA	14.3
APLICACIONES MÓVILES	13.5
APLICACIONES ROBÓTICAS	9.1
ANATOMÍA	4.9
NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA	3.5
EDUCACIÓN ESPECIAL	3.4
CIENCIAS MATEMÁTICAS	3
TURISMO	1.5
EDUCACIÓN EN LENGUAS EXTRANJERAS	1.5
EDUCACIÓN A DISTANCIA	1.5
EDUCACIÓN DE AVIACIÓN MILITAR	0.4
EDUCACIÓN AMBIENTAL	0.2
CIENCIAS NATURALES	0.2
EDUCACIÓN MARINA MILITAR	0.2
QUÍMICA DE ALIMENTOS	0.2
CONSTRUCCIÓN	0.2
APLICACIONES DE MUSEOS	0.2
DISEÑO INSTRUCCIONAL	0.2
ARQUITECTURA	0.2
PEDAGOGÍA	0.2
PSICOLOGÍA	0.2
REHABILITACIÓN	0.2
MEDIOS DE COMUNICACIÓN SOCIAL	0.2
TEATRO CREATIVO	0.2
ODONTOLOGÍA	0.2
SISTEMAS DE GESTIÓN DE BIBLIOTECAS	0.2
HISTORIA	0.2
EDUCACIÓN EN ARTES VISUALES	0.1
SISTEMAS DE SEGUIMIENTO VISUAL	0.1
APLICACIONES DE HOSPITALES	0.1
LEY Y POLÍTICA	0.1
CIENCIAS HUMANAS	0.1
APOYO LOGÍSTICO MILITAR	0.1
MEDIA Y COMUNICACIÓN	0.1
INGENIERÍA NUCLEAR	0.1
EDUCACIÓN PREESCOLAR	0.1
TRABAJO DE IMAGEN	0.1
MARKETING	0.1
DEFENSA CIVIL	0.1
CLASES DE MANEJO	0.1
EDUCACIÓN SOBRE LA VIDA SUBMARINA	0.1
TEATRO	0.1
CUIDADO DE ANCIANOS	0.1
EDUCACIÓN DE LA PRIMERA INFANCIA	0.1
ENTRENAMIENTO DE BALLE	0.1
ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA	0.1
COMPRAS EN LÍNEA	0.1
ÉTICA Y EVOLUCIÓN DE TECNOLOGÍAS	0.1

Fuente: Tomado y adaptado de Tezer y col (2019, p. 163)



Como se aprecia en la tabla anterior, son muchas las áreas donde se ha implementado, o al menos investigado el uso de la RA, estas, en la actualidad, en la medida que incrementa el auge de las TIC'S y mejoran los dispositivos móviles, podría ser aún mayor (Tezer et al., 2019).

2.2. Uso de la realidad aumentada para los propósitos educativos.

Docentes, ingenieros, investigadores y profesionales están desarrollando diferentes herramientas y metodologías que incluyen esta tecnología, para beneficiar a estudiantes y docentes al enriquecer las experiencias de aprendizaje y enseñanza, sin embargo, como informaron Wu y col. (2013), los estudios relacionados con la RA siguen siendo inmaduros en comparación con los estudios de otras tecnologías en educación.

Sin embargo, como tecnología en desarrollo, La RA tiene barreras que superar, como la usabilidad (Akçayır et al., 2016), la resistencia de los profesores (K. Lee, 2012) y la sobrecarga de información (Akçayır & Akçayır, 2017; Turan et al., 2018). También existen problemas técnicos, como dificultades para detectar la ubicación del usuario (Palmarini et al., 2018), especialmente en interiores, y limitaciones en el reconocimiento de patrones que afectan las aplicaciones ergonómicas (Fraga-Lamas et al., 2018).

En educación, la RA se ha utilizado para diseñar herramientas pedagógicas destinadas a enriquecer las experiencias de aprendizaje y enseñanza (De Paolis & Mongelli, 2016). Muchos estudios indican que las tecnologías de RA permiten a los estudiantes adquirir conocimientos de una manera más significativa



ayudándoles a desarrollar habilidades especiales mucho más difíciles de obtener con otros recursos pedagógicos (Akçayır & Akçayır, 2017; Cheng & Tsai, 2013; Safar et al., 2016).

Por ejemplo, la RA proporciona al alumno un fácil acceso a fenómenos no observables como el movimiento del sol en contextos de aula simulados (Tarng et al., 2018), o el comportamiento de los campos magnéticos (Cai et al., 2017), entre otros, que han sido identificado como problemático para los estudiantes.

En cuanto a los campos educativos, la mayoría de los usos están relacionados con el amplio campo de las ciencias naturales, las matemáticas y las estadísticas y sus aportes en este entorno están relacionadas con las ventajas que aporta la RA a la hora de enseñar conceptos abstractos (Ibáñez et al., 2016). Las ventajas de usar RA en entornos educativos van desde los aspectos psicológicos hasta los de aprendizaje. Existe evidencia contundente de los múltiples beneficios que esta tecnología puede brindar a los escenarios educativos (Akçayır & Akçayır, 2017).

Las ganancias en el aprendizaje continúan siendo la ventaja más reportada de los sistemas de RA en educación, seguidas por la motivación, además, que ayudan a mejorar, no solo el nivel académico de los estudiantes, sino también muchos otros rasgos de personalidad como la autonomía, la creatividad y la colaboración (Garzón et al., 2019).



2.2.1. Uso de la realidad aumentada en la enseñanza de medicina.

Las tecnologías de RA se han desplegado desde hace un tiempo en el contexto de la educación quirúrgica, lo que permite a los cirujanos ampliar más rápidamente sus habilidades para garantizar el crecimiento profesional (Stefan et al., 2018).

Un diagrama de red de co-ocurrencia generado en la revisión sistemática realizada por Zhang y col. (2022), destacó cinco tendencias clave de investigación en la RA aplicada a la enseñanza de la medicina: investigación neurológica, técnicas quirúrgicas, productos tecnológicos, medicina de rehabilitación y terapia clínica.

Hay en general, muchas aplicaciones de RA en entornos médicos. Al respecto, Kamphuis y col, (2014), por ejemplo, informaron que la RA ha alcanzado un nivel maduro de uso en el campo de la ingeniería anatómica, para diversas tecnologías y en el entrenamiento fisiológico, y también ha revolucionado la formación quirúrgica.

Si bien la integración de la capacitación con RA en la escuela de medicina y los programas de residencia requeriría pruebas de prototipos y métodos de enseñanza completamente nuevos, esta tecnología tiene el potencial de transformar completamente la capacitación médica y científica (Barsom et al., 2016; Gerup et al., 2020). Los primeros en adoptar las innovaciones de RA en la formación médica han notado varios beneficios, incluida la capacidad de simular escenarios de la vida real sin arriesgarse a las consecuencias del mundo real.

Por su parte, aunque la investigación sobre la implementación de la RA en la educación anatómica es relativamente limitada, hay resultados prometedores sobre



el potencial didáctico de la RA (Moro, Birt, et al., 2021). Especialmente en lo que respecta a la motivación de los estudiantes para estudiar anatomía, se han publicado varios informes favorables a lo largo de los años (Ferrer-Torregrosa et al., 2015, 2016; Moro, Birt, et al., 2021). Así mismo, los efectos de la RA en el aprendizaje de la anatomía también han sido investigados por varios autores y estos son alentadores (Barmaki et al., 2019; Bork et al., 2019).

A pesar de estos avances, todavía faltan trabajos experimentales y de observación publicados sobre la eficacia y la utilidad de la RA en la formación y la educación médicas (Barsom et al., 2016).

2.2.2. Oportunidades para mejorar la enseñanza de medicina.

Para superar los inconvenientes y las barreras de utilizar el conocimiento teórico en entornos de entrenamiento de la enseñanza de la medicina, varios estudios han identificado las siguientes ventajas de usar instrucción respaldada por RA (Barsom et al., 2016; Couperus et al., 2020; Moro, Phelps, et al., 2021):

- Disminuye el equipamiento tecnológico necesario para eliminar las fallas humanas, que podrían ser irreversibles para los pacientes;
- Aumenta la escalabilidad de cualquier contenido de aprendizaje médico, utilizando varios sentidos humanos (visual, auditivo, háptico); y
- mejora el aprendizaje proporcionando retroalimentación inmediata en tiempo real con movimientos incorporados (por ejemplo, animaciones gráficas).



Además, la instrucción respaldada por la RA puede ayudar a los estudiantes a ser más productivos mediante la creación de rutas de navegación/interacción con el sistema más significativas al explorar el material de aprendizaje (Kiourexidou et al., 2015).

Existe un amplio acuerdo entre los investigadores de que la instrucción apoyada por la RA generalmente puede promover el aprendizaje activo y ayudar a los estudiantes a explorar libremente cualquier tarea cognitivamente exigente utilizando entornos simulados y realistas con fidelidad de representación, desarrollando así el conocimiento teórico de los estudiantes a través de prácticas de instrucción utilizando dispositivos portátiles (Tang et al., 2020).

Varios estudios han abordado el valor del potencial aporte de diferentes aplicaciones de RA en relación con las tareas o prácticas o experiencia de los estudiantes de medicina de varias maneras, entre estas se encuentran, evaluar la eficiencia de aprendizaje de los estudiantes al visualizar los datos con la ilustración infográfica de las aplicaciones de RA (Dehghani et al., 2020); explorando la viabilidad de un módulo de corazón humano tridimensional (3D) (Kiourexidou et al., 2015); y comparar diferentes dispositivos informáticos para evaluar si el aprendizaje de la anatomía estructural mediante el uso de tecnología compatible con RV o RA (Moro, Phelps, et al., 2021).

Otras investigaciones (Moro, Phelps, et al., 2021; Serrano Vergel et al., 2020) se han centrado explícitamente en la comparación e identificación de la combinación más adecuada de soluciones tecnológicas inmersivas (HoloLens, VR-tabletop) para la didáctica del entrenamiento anatómico.



2.2.2.1. Beneficios de la RA en la comprensión de la anatomía humana

La visualización tridimensional (3D), que es una forma de aprendizaje basado en computadora, ha demostrado su eficacia como modalidad de pedagogía de la anatomía (Hackett & Proctor, 2016). Especialmente, el uso de objetos virtuales para la enseñanza de la anatomía ha llevado a resultados educativos alentadores (Falah et al., 2015; Said et al., 2015).

Un ejemplo de la implementación de RA en la educación anatómica es el uso de un dispositivo de visualización móvil, cuya cámara escanea una imagen de la página de un libro (Küçük et al., 2016). A través de una aplicación, la imagen se detecta y reconoce como un marcador. Cuando los estudiantes miran las páginas del libro en el dispositivo de visualización, pueden ver objetos multimedia superpuestos, que les permiten interactuar con ellos (Küçük et al., 2016). Se han desarrollado varios sistemas RA con perspectivas para ser utilizados como herramientas de enseñanza de la anatomía (Bauer et al., 2016; Jamali et al., 2015; Kurniawan et al., 2018). A pesar de esto, los estudios sobre los aportes de la RA al estudio de anatomía aún son limitados (Chytas et al., 2020).

Varios investigadores han evaluado los beneficios académicos del empleo de RA en la enseñanza de la anatomía, en estas investigaciones, valoraron el desempeño académico de los estudiantes tras el uso de la herramienta de RA (Ferrer-Torregrosa et al., 2015; Küçük et al., 2016), y encontraron de manera general que los evaluados tuvieron una opinión satisfactoria de la herramienta, no obstante, este resultado debe interpretarse con cuidado debido a varios factores que pudieran influir en los resultados. Así mismo, en esos estudios se repostó una



incidencia positiva en los niveles de motivación de los estudiantes para aprender la materia.

2.2.2.2. Beneficios de la RA en la simulación de procedimientos médicos

Durante las últimas dos décadas, la realidad aumentada ha ganado una inmensa popularidad, pero su uso en el quirófano aún está en desarrollo e investigación (Hussain et al., 2019). A diferencia de la realidad virtual, que reemplaza por completo el entorno del usuario con uno simulado, RA es un entorno interactivo en el que los objetos físicos son aumentados por información virtual generada por computadora.

Estas señales auxiliares pueden tener diferentes formas: visuales, auditivas, hápticas, gustativas y olfativas por lo que los sistemas de RA pueden clasificarse en dos tipos, según el nivel de la sensación de estar dentro de un entorno particular: inmersivo (directo) y semi-inmersivo (indirecto) (Hussain et al., 2019).

Según esta clasificación, se tiene que La RA inmersiva se refiere a los sistemas en los que el usuario visualiza el entorno real directamente y se proyecta información adicional sobre el entorno. Mientras que la RA semi inmersiva se refiere a los sistemas en los que el usuario está parcialmente desconectado de la realidad y no puede recibir la información de propiocepción directamente en su cuerpo. En el quirófano, la RA se puede entregar teóricamente a través de gafas, pantallas, parlantes, guantes, joysticks o robots co-manipulados, entre otros.

En base a lo expuesto, Se han desarrollando herramientas complementarias, como dispositivos de retroalimentación háptica, manipuladores robóticos



telemanipulados y pantallas de imágenes mejoradas para mejorar aún más el potencial de las intervenciones guiadas por imágenes (Wen et al., 2017; Widmann, 2007).

El principal aporte de la RA en cirugía es la capacidad de ver a través de estructuras y acceder a información oculta sin interferir con el proceso quirúrgico, por lo que esta tecnología se emplea con éxito en la planificación quirúrgica, imágenes intraoperatorias, navegación quirúrgica y localización de estructuras objetivo (Citardi et al., 2016; Hussain et al., 2018; Murugesan et al., 2018). De igual manera. La RA puede ser particularmente útil para resaltar estructuras críticas, patologías y regiones de riesgo de una manera intuitiva; también tiene el potencial de facilitar procedimientos mínimamente invasivos al permitir que los cirujanos visualicen estructuras sin exponerlas (Bernhardt et al., 2017; Marroquin et al., 2018; J. Wang et al., 2014).

La principal ventaja de la que disfrutan los procedimientos basados en RA sobre los procedimientos tradicionales de guiado por imágenes es la mejora significativa en la ergonomía del sistema. Con la RA, todo está disponible en una sola vista, lo que elimina la necesidad de que el cirujano vaya y venga entre diferentes sistemas sensoriales (Hussain et al., 2019).

2.2.2.3. RA en la simulación de casos clínicos y el desarrollo de habilidades de toma de decisiones

En educación médica, se puede utilizar a la RA para simular escenarios clínicos de la vida real y brindar a los estudiantes experiencia práctica en el cuidado de pacientes (Evans & Taubert, 2019; Vargas Ovalle & Franco Sánchez, 2022). El uso



de la realidad aumentada en la educación médica tiene el potencial de revolucionar la forma en que los estudiantes aprenden e interactúan con sus futuros pacientes (Taubert & Evans, 2021). Al brindarles a los estudiantes una experiencia de aprendizaje más interactiva y envolvente, pueden desarrollar una mejor comunicación y habilidades interpersonales, que son esenciales en la prestación de atención al paciente de alta calidad (Montague, 2022).

La simulación de casos clínicos se ha convertido en una herramienta cada vez más importante en la educación y formación médica (Ayaz & Ismail, 2022). Su propósito es brindar a los profesionales médicos la oportunidad de practicar sus habilidades de toma de decisiones en un entorno controlado antes de aplicarlas a pacientes reales, por lo tanto, este enfoque se considera una forma de mejorar la seguridad del paciente y mejorar la calidad de la atención (Jeffries, 2022).

El uso de la simulación de casos clínicos ha demostrado tener un impacto positivo en el desarrollo de habilidades para la toma de decisiones en los profesionales médicos. A través de estas simulaciones, los estudiantes de medicina y los profesionales pueden experimentar escenarios clínicos de la vida real, incluida la evaluación del paciente, el diagnóstico y la planificación del tratamiento (Nasseef et al., 2022). Esto les brinda la oportunidad de aplicar sus conocimientos y habilidades en un entorno seguro, permitiéndoles cometer errores, aprender de ellos y mejorar su desempeño general.

Además de su papel en la mejora de las habilidades de toma de decisiones, se ha demostrado que la simulación de casos clínicos mejora las habilidades de resolución de problemas, el pensamiento crítico y las habilidades de comunicación en los profesionales médicos (Fischer & Opitz, 2022). Estas habilidades son



esenciales para brindar atención al paciente de alta calidad, y el desarrollo de estas habilidades a través de la simulación puede conducir a mejores resultados para los pacientes.

Así mismo, la realidad aumentada se puede utilizar para simular consultas de pacientes y procedimientos médicos (Campisi et al., 2020). A través de estas simulaciones, los estudiantes pueden practicar sus habilidades de comunicación, incluida la escucha activa, la empatía y las explicaciones claras de las condiciones y tratamientos médicos. Esto puede ayudarlos a desarrollar una mejor comprensión de la perspectiva del paciente y comunicar de manera efectiva información médica compleja de una manera que sea fácil de entender para el paciente.

Hay varias formas de simulación de casos clínicos, incluidas simulaciones basadas en computadora, simulaciones de juegos de roles y simulaciones basadas en maniqués de alta fidelidad (Datta et al., 2012; Dieckmann et al., 2007). Independientemente de la forma de simulación, es importante que los escenarios utilizados sean representativos de situaciones clínicas de la vida real y que reflejen con precisión las prácticas y directrices médicas actuales.

Lo anteriormente expuesto, conlleva a comprender que el uso de la simulación de casos clínicos es una herramienta eficaz en el desarrollo de habilidades para la toma de decisiones en los profesionales médicos. Su impacto en otras habilidades importantes, como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la comunicación, lo convierten en un componente importante de los programas de educación y capacitación médica. A medida que avanza la tecnología, es probable que el uso de la simulación de casos clínicos continúe creciendo y desempeñe un papel importante en la mejora de la calidad de la atención a los pacientes.



2.2.2.4. La RA en la mejora de la comunicación entre estudiantes y pacientes

Uno de los beneficios clave del uso de la tecnología de RA en la educación médica es su capacidad para mejorar la comunicación entre los estudiantes y sus futuros pacientes (Lee et al., 2019; Monterubbianesi et al., 2022). Al permitir que los estudiantes experimenten e interactúen con conceptos y procedimientos médicos en un entorno virtual, la tecnología RA puede ayudar a cerrar la brecha entre el conocimiento teórico y la aplicación práctica (Zhu et al., 2015). Esto puede conducir a una relación médico-paciente más informada y empática, lo cual es esencial para brindar una atención al paciente de alta calidad.

Además de sus beneficios para la educación médica, la tecnología de RA también tiene el potencial de mejorar la calidad general de la atención al paciente (Metcalf et al., 2016). Por ejemplo, la RA se puede usar para visualizar imágenes y datos médicos en tiempo real (Chen et al., 2019), lo que permite a los profesionales médicos tomar decisiones más informadas y mejorar los resultados de los pacientes. También se puede utilizar para guiar procedimientos médicos, como cirugías, lo que ayuda a aumentar la precisión y reducir el riesgo de complicaciones (Alfonso-Garcia et al., 2020).



3. OBJETIVOS

La tecnología de realidad aumentada (RA) ha surgido como una herramienta innovadora y potencialmente efectiva para mejorar la enseñanza de la medicina. La RA permite a los estudiantes interactuar con modelos tridimensionales del cuerpo humano, así como practicar procedimientos médicos de manera más inmersiva e interactiva. A pesar del creciente interés en el uso de la RA en la educación médica, todavía existen lagunas en nuestra comprensión de cómo puede impactar la formación de futuros médicos. Por lo tanto, el objetivo general de esta tesis es:

3.1. Objetivo general

Evaluar la literatura actual sobre la utilización de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina y su impacto en la formación de futuros médicos.

Además, se plantean los siguientes objetivos específicos:

3.2. Objetivos específicos

- Identificar los estudios y avances tecnológicos más recientes en la utilización de la realidad aumentada en la enseñanza médica.



- Enumerar las ventajas y desventajas reportadas sobre la integración de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina.
- Conocer los aspectos éticos y legales que hasta el momento se han abordado con respecto al uso de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina.

Mediante la consecución de estos objetivos específicos, se espera tener una comprensión más profunda de la viabilidad y efectividad de la realidad aumentada en la formación de futuros médicos y contribuir al avance de la educación médica en el siglo XXI.



4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño de la investigación

La presente investigación posee un enfoque del tipo cualitativo, en tal sentido, el diseño seleccionado es el de del tipo revisión sistemática narrativa de alcance sin metaanálisis. La elección del enfoque narrativo de alcance para llevar a cabo la revisión bibliográfica sobre la integración de la realidad aumentada en la enseñanza médica se basa en la necesidad de recopilar y analizar información de una manera sistemática y rigurosa, a fin de obtener una comprensión clara y completa del tema de investigación. Este enfoque metodológico se utiliza comúnmente en las revisiones de literatura y es especialmente adecuado para el estudio de temas complejos y emergentes en áreas multidisciplinares (Aguilera, 2014).

En comparación con otros enfoques y diseños metodológicos, el diseño narrativo de alcance permite a los investigadores analizar la información disponible en la literatura de una manera sistemática, a la vez que proporciona una flexibilidad que permite ajustar la revisión a los objetivos específicos de la investigación y a las preguntas de investigación planteadas (Sampieri et al., 2014).

Este diseño, se basa en la identificación de temas clave y tendencias emergentes en la literatura, que luego se analizan y sintetizan para obtener una visión general del tema de investigación. Con lo cual es posible identificar y evaluar



críticamente la información disponible, así como establecer relaciones entre los diferentes estudios y tendencias identificadas.

En el caso específico de la tesis en cuestión, el enfoque narrativo de alcance se justifica por la necesidad de evaluar críticamente la literatura disponible sobre la integración de la realidad aumentada en la enseñanza médica y su impacto en la formación de futuros médicos.

4.2. Revisión bibliográfica de alcance

Una revisión de alcance también conocida como revisión de mapeo, tiene por objetivo identificar y mapear la literatura existente sobre un tema de investigación específico. La revisión de alcance es útil para explorar temas emergentes o amplios, identificar lagunas en el conocimiento y para delinear revisiones sistemáticas más detalladas en el futuro.

En este sentido, en la investigación, se utilizó la metodología del Instituto Joanna Briggs (IJB) para revisiones de alcance (Peters et al., 2020) que está constituida por las siguientes secciones: la identificación de la pregunta de investigación, la identificación de estudios relevantes, la selección de estudios, la representación gráfica de los datos, la comparación, el resumen y la presentación de resultados.



De igual manera, para la organización y presentación de los resultados, se emplearon las indicaciones PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR) (Tricco et al., 2018).

4.2.1. Sección: Identificación de la pregunta de investigación

El objetivo de esta revisión de alcance es evaluar la literatura actual sobre la utilización de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina y su impacto en la formación de futuros médicos. Para cumplir con este objetivo, hemos desarrollado las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es la efectividad de la realidad aumentada como herramienta de enseñanza en la formación de futuros médicos, en comparación con los métodos de enseñanza tradicionales?
- ¿Cuáles son los desafíos y limitaciones técnicas, educativas y pedagógicas que enfrenta la implementación de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina?
- ¿Cuál es el impacto de la realidad aumentada en la adquisición y el desarrollo de habilidades prácticas y clínicas de los futuros médicos?
- ¿Cuáles son los futuros desafíos y tendencias que podría asumir la RA en la formación de médicos?

4.2.2. Sección: Identificación de estudios relevantes

Se realizó una búsqueda exhaustiva de la literatura utilizando las siguientes bases de datos electrónicas: PUBMED, MEDLINE, y ScienceDirect. Como primer paso, se realizó una búsqueda limitada por palabras clave en PUBMED con la intención de poner a prueba la estrategia de búsqueda y la idoneidad de las palabras claves, cuando se logró determinar cuáles palabras claves arrojaron mayor y mejor calidad de resultados, estas también se probaron en las restantes bases de datos y también fueron reajustadas cuando fue necesario,

Finalizada la verificación de idoneidad de los términos de búsqueda, quedaron definidos los siguientes para todas las bases de datos: “realidad aumentada”, combinado con “medicina” y “aprendizaje”, o “educación” o “enseñanza”. El intervalo de fechas de las publicaciones buscadas fue de 2017 a 2022, y las búsquedas se filtraron para obtener el texto completo, y solo artículos de revistas revisados por pares y en idioma inglés.

Dado que el diseño de la presente investigación es el de una revisión bibliográfica sistematizada narrativa y de alcance, en esta investigación no existió una muestra definida, es decir no se limitó de manera previa la cantidad de artículos a evaluar ya que en este tipo de investigación todos los artículos relevantes que cumplan con los criterios de selección deben ser considerados.

Tras la aplicación de los términos de búsqueda en las respectivas bases de datos, los estudios encontrados se evaluaron de manera independiente para verificar la idoneidad de los mismos, en este punto, se realizó un análisis de las

palabras contenidas en el título y los resúmenes, a partir de entonces, se realizó una segunda búsqueda en todas las bases de datos en diciembre de 2020 utilizando todas las palabras clave y términos de índice identificados.

El siguiente paso, fue la inclusión de todas las referencias bibliográficas hasta este punto seleccionadas en el gestor de citas bibliográficas ZOTERO, en este, se identificaron las referencias duplicadas y fue entonces cuando se descartaron.

4.2.3. Sección: Selección de los manuscritos

Después de eliminar los duplicados, fue verificada la relevancia potencial de los artículos restantes mediante un proceso de dos etapas, la primera, se basó en la lectura en detalle, tanto de los títulos, como los resúmenes de dichos trabajos, y la segunda, requirió la lectura del artículo completo. En ambos casos, se aplicaron los criterios de inclusión/exclusión considerados para la investigación.

4.2.3.1. Criterios de inclusión/exclusión

La selección de los manuscritos restantes se sustentó en la obligatoriedad de cumplimiento de varios parámetros que buscaba asegurar que los estudios seleccionados se acoplaran a los criterios que se indican a continuación:



- **Criterios de inclusión:**

- Estudios originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, informes de casos y revisiones narrativas sobre la utilización de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina.
- Artículos publicados en revistas científicas con revisión por pares.
- Artículos publicados en inglés.
- Artículos publicados entre 2017 y 2022.
- Investigaciones que examinan la utilización de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina.
- Estudios que informan sobre el impacto de la realidad aumentada en la formación de futuros médicos.
- Artículos que abordan los objetivos específicos planteados, incluyendo los estudios y avances tecnológicos más recientes en la utilización de la realidad aumentada, las ventajas y desventajas reportadas sobre la integración de la realidad aumentada, en la enseñanza de la medicina.
- Estudios enfocados en la enseñanza a nivel universitario.
- Artículos relacionados con realidad aumentada y educación
- Artículos que tratan el aprendizaje de los médicos con esa herramienta.

- **Criterios de exclusión:**

- Estudios que no están relacionados con la enseñanza de la medicina.
- Investigaciones que no utilizan la realidad aumentada como herramienta de enseñanza.
- Artículos que no informan sobre el impacto de la realidad aumentada en la formación de futuros médicos.
- Estudios que no cumplen con los objetivos específicos planteados.



- Artículos que estén duplicados o que presenten información redundante.
- Artículos que presenten una baja calidad metodológica o que no estén revisados por pares.
- Artículos publicados en otros idiomas distintos al inglés y/o publicados fuera de los periodos descritos para la evaluación
- Artículos que se trataban sobre realidad virtual (RV) o realidad mixta (RM), modelado o visualización 3D, videojuegos, educación escolar o capacitación en salud y seguridad.
- Artículos que solo mencionaban a la RA, pero no ahondaban en el tema.
- Artículos con contenido especulativo o sin contenido empírico.
- Artículos que trataban sobre tecnología, pero no sobre educación
- Artículos relacionados con el aprendizaje de los pacientes en lugar de los médicos.
- Artículos que trataban sobre el diagnóstico del paciente en la práctica en lugar de en educación

Todo el proceso de selección siguió las pautas PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Tricco et al., 2018).



4.2.4. Etapa: Extracción de la información (Instrumento de recolección):

Los datos relevantes de los estudios seleccionados fueron extraídos para su empleo en la revisión narrativa, para esto, se empleó un formulario estructurado de registro de datos desarrollado para este estudio, y la información se registró utilizando el software ofimático Microsoft Excel. El formulario completo de extracción de datos se puede encontrar en el anexo 1. La herramienta de extracción de datos se puso a prueba y se revisó según fue necesario durante el proceso de extracción de datos de cada estudio.

4.2.5. Etapa: manejo y presentación de la información (metodología de abordaje y análisis)

Para la caracterización y resumen de los resultados, estos fueron presentados en forma de tablas y gráficos, y los mismos contienen los datos más relevantes de las bibliografías seleccionadas.

De acuerdo con los objetivos específicos de este estudio, se brinda para cada uno información sobre la tendencia general del tema de dicho objetivo específico. Los resultados tabulados y graficados fueron acompañados por un resumen narrativo, que describió cómo los resultados cumplieron con los objetivos y propósitos de esta revisión de alcance.

Informamos los hallazgos de acuerdo con la lista de verificación PRISMA-ScR (Tricco et al., 2018). Y los usos de la realidad aumentada se presentaron por áreas de interés.

En la revisión narrativa, se clasificaron los datos en base a el tipo y características de las aplicaciones de RA reportadas en la enseñanza de la medicina, las áreas de la medicina que abordan, las ventajas y las perspectivas futuras.



5. RESULTADOS/ DISCUSIÓN

A raíz de nuestra búsqueda inicial en las tres bases de datos, identificamos un total de 10,725 registros. De estos, se eliminaron 4,623 registros duplicados, lo que representa el 43.1% del total. Tras esta depuración, examinamos los 6,102 registros restantes, excluyendo 4,230 (69.32%) después de revisar sus títulos, resúmenes y palabras clave. Posteriormente, se descartaron 1,830 estudios adicionales al aplicar los criterios de elegibilidad a través de la lectura del texto completo del artículo. Finalmente, se seleccionaron 42 trabajos de investigación publicados que cumplían con los criterios de inclusión (ver Figura 1).

Los resultados obtenidos incluyen artículos que abordan diversos aspectos, como la efectividad de la RA en comparación con los métodos de enseñanza tradicionales, los desafíos y limitaciones técnicas, educativas y pedagógicas en la implementación de la RA, su impacto en la motivación y el compromiso de los estudiantes y su influencia en el desarrollo de habilidades prácticas y clínicas. En los acápites posteriores se abordarán estos temas de manera independiente.

Sin embargo, es necesario aclarar que tras el proceso riguroso de búsqueda y selección de estos artículos solo se seleccionaron 42 estudios para su inclusión en esta tesis ya que un gran número de artículos se enfocaban en la realidad virtual (RV), la realidad mixta (RM) y la realidad extendida (RE) en lugar de la realidad aumentada (RA). Aunque estas tecnologías comparten similitudes, es importante destacar que la RA, la RV y la RM son conceptos distintos con aplicaciones y alcances diferentes en el ámbito educativo (Milgram & Kishino, 1994).

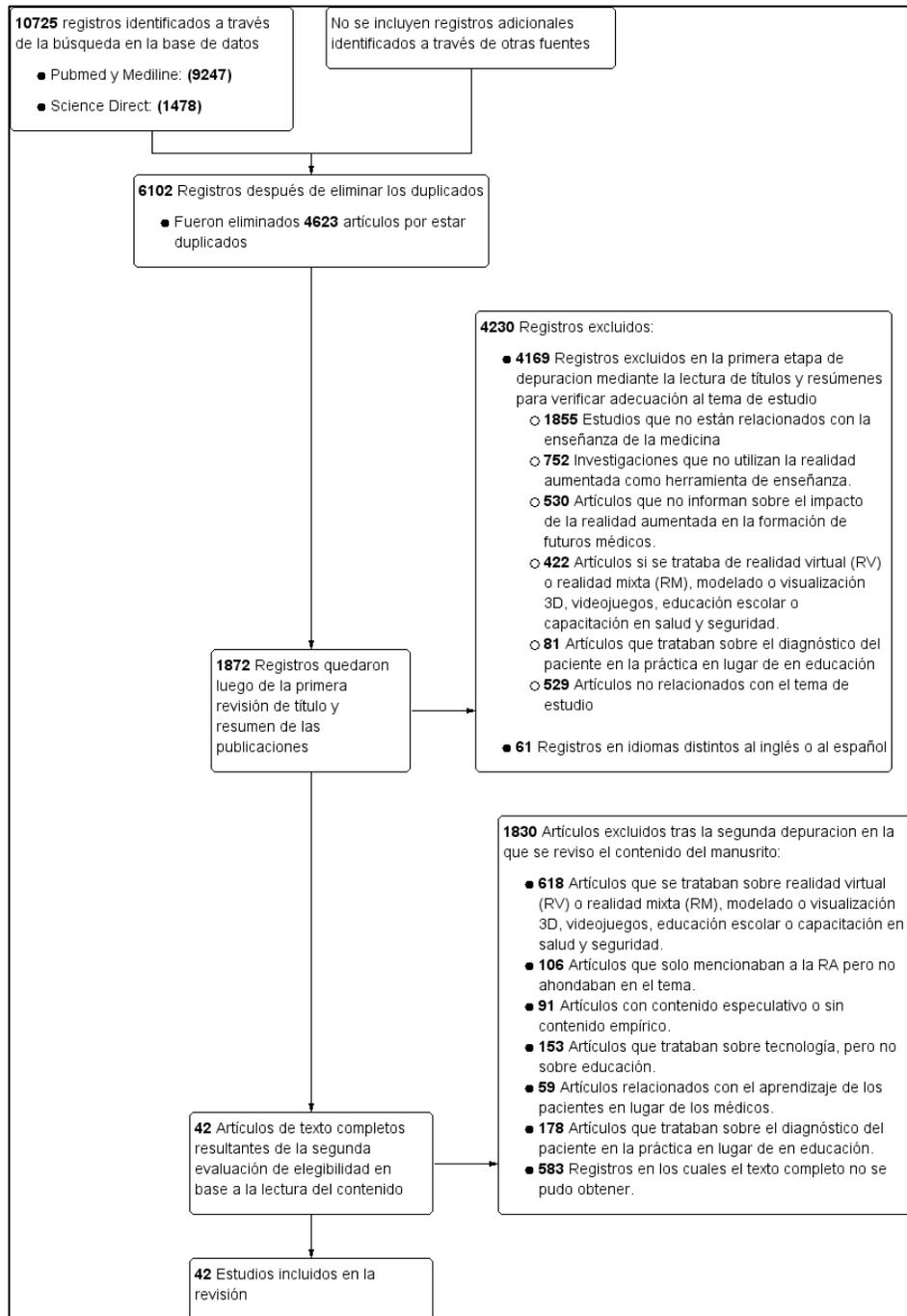


Figura 1. Diagrama de flujo de cribado y selección de estudios



La realidad aumentada se caracteriza por superponer información digital en el entorno real, permitiendo una interacción más directa con el contenido y proporcionando un contexto enriquecido para el aprendizaje (Azuma, 1997). Por otro lado, la realidad virtual sumerge al usuario en un entorno completamente digital, mientras que la realidad mixta combina elementos de la RA y la RV para crear experiencias de inmersión que integran el entorno real y el digital (Milgram et al., 1995). La exclusión de estudios que abordan la RV y la RM en esta revisión de alcance se debe a nuestro enfoque específico en la RA y su aplicación en la enseñanza de la medicina a nivel universitario.

En la siguiente sección, se presentarán y analizarán los resultados de la revisión de alcance, abordando los aspectos mencionados previamente y proporcionando una visión integral del estado actual del uso de la realidad aumentada en la enseñanza de la medicina.

5.1 Resultados del empleo de la realidad aumentada en el aprendizaje de las carreras médicas.

La **Tabla 2** presenta los estudios seleccionados, los cuales se llevaron a cabo en siete países distintos. De estos estudios, cinco emplearon un diseño de ensayo controlado aleatorio, dos utilizaron una combinación de métodos y uno se basó en un enfoque de cohorte. El rango de participantes en los estudios varió de 12 a 44 individuos. Con respecto a los participantes, seis ensayos involucraron a estudiantes de medicina y/o enfermería, dos incluyeron residentes, mientras que los



ensayos restantes comprendieron una variedad de participantes, como médicos, enfermeras registradas, técnicos, residentes, estudiantes, y paramédicos.

Tabla 2. Características de los estudios seleccionados.

Temática abordada	Participantes	Tamaño de la muestra	Diseño	Resultados	País	Referencia
Evaluación de la viabilidad de un prototipo AR para el entrenamiento en soporte vital básico y desfibrilación	Médicos, enfermeras y residentes	26	ensayo controlado aleatorizado	Confianza y satisfacción	Italia	(Ingrassia et al., 2020)
Evaluación de la usabilidad y viabilidad de RA para la formación de habilidades de enfermería	Estudiantes	30	Cohorte	Habilidad, tiempo de desempeño, satisfacción y conocimiento.	Corea	(S. K. Kim et al., 2021)
Evaluación del uso de RA en el manejo de los resultados del asma pediátrica	Estudiantes	21	Mixto	Confianza y satisfacción	EE. UU.	Kotcherlakota et al., 2020)
Propuesta de un sistema RA para mejorar el aprendizaje y la enseñanza de tacto rectal	Medicos y estudiantes	19	ensayo controlado aleatorizado	Habilidad, conocimiento y satisfacción	Inglaterra	(Muangpoon et al., 2020)
Evaluar el éxito del aprendizaje comparando a los alumnos con y sin Realidad Aumentada Movil	Estudiantes	44	ensayo controlado aleatorizado	Conocimiento y habilidad	Alemania	(Noll et al., 2017)
Evaluación de los efectos de la RA en la interacción y la comunicación	Estudiantes	13	Mixto	Conocimiento	Alemania	(Schiffeler et al., 2019)
Evaluar si la adaptación de los anteojos de RA con las pautas de la Asociación Americana del Corazón puede reducir el tiempo y la desviación de los ejercicios esenciales para salvar vidas durante la RCP pediátrica en comparación con el soporte vital avanzado pediátricos	Residentes	20	ensayo controlado aleatorizado	Tiempo de rendimiento y confianza	Suiza	(Siebert et al., 2017)
Desarrollo de una plataforma de telemedicina usando RA para mejorar la formación médica de forma remota	paramédicos y estudiantes	12	ensayo controlado aleatorizado	Tiempo de desempeño y satisfacción	Canada	(S. Wang et al., 2017)

Fuente: Datos del estudio. Diagramado por el autor



En años recientes, la aplicación de la realidad aumentada (RA) en el ámbito médico ha captado el interés de académicos e investigadores, lo cual se refleja en el incremento de publicaciones enfocadas en diversos temas relacionados con la RA. Esta tendencia queda evidenciada en que cinco de los siete estudios que evaluaron métodos de enseñanza empleando realidad aumentada se llevaron a cabo en el periodo comprendido entre 2019 y 2021.

Este fenómeno destaca la relevancia y el potencial de la RA como herramienta innovadora en la enseñanza médica y subraya la importancia de seguir explorando sus aplicaciones y beneficios en la formación de profesionales de la salud. Un estudio sobre la aplicación de la realidad aumentada (RA) en la educación médica descubrió que las habilidades de los estudiantes mejoraron tras la intervención (S. K. Kim et al., 2021). Sin embargo, en los estudios incluidos, no se identificó ninguna relación estadística entre los puntajes de desempeño de habilidades y las tasas de éxito.

En los estudios que emplearon grupos de control, se observó una mejora en la confianza de los participantes al utilizar la RA. El entrenamiento con RA tuvo un mayor impacto en la confianza de los participantes en comparación con otros métodos.

En cuanto a los resultados en términos de conocimientos, no se encontró evidencia en los estudios que sugiriera que los participantes capacitados con RA superaron a aquellos que utilizaron otros métodos educativos en la formación médica. Esto indica la importancia de la interacción en el proceso de aprendizaje, lo que resalta la necesidad de más investigación en el futuro sobre el impacto de la RA en la adquisición de conocimientos en la educación médica.



Respecto a los tiempos de implementación, los estudios seleccionados para este análisis sugieren que la RA fue más efectiva que otros métodos de entrenamiento en la reducción del tiempo de desempeño y en la mejora del rendimiento. La heterogeneidad observada podría deberse a los diferentes diseños y contextos de investigación empleados en los estudios seleccionados, incluyendo proyectos quirúrgicos, dispositivos de RA y métodos de entrenamiento en grupos de control.

Un estudio (Vidal-Balea et al., 2021) que evaluó la eficiencia del entrenamiento en simulación de endoscopia con RA analizó el tiempo de desempeño basándose en datos del mundo real. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los grupos de RA y control, la calidad de la evidencia fue limitada. Otros estudios que midieron el tiempo de desempeño como resultado, encontraron que la RA puede ayudar a los operadores a reducir el tiempo de desempeño (Balian et al., 2019; S. K. Kim et al., 2021).

5.2. Desafíos y limitaciones en la implementación de RA en la enseñanza de la medicina

Esta revisión busca evidencia sobre la efectividad de la realidad aumentada en la educación médica.

Tabla 3 resume los estudios seleccionados según el autor, la especialidad médica, el diseño del estudio, la población, las medidas de efectividad y las



Universidad
Europea VALENCIA

posibilidades relacionadas. Algunos estudios incluyen expertos además de estudiantes de medicina.



Tabla 3. Características de los estudios seleccionados

Diseño del estudio	Tamaño de la muestra	Medida efectiva	Que se logró	Especialidad	Referencia
Los grupos experimentales y de control probaron su capacidad para colocar una sonda nasogástrica.	69	El grupo experimental se desempeñó significativamente mejor que el grupo de control en su capacidad para colocar correctamente el SNG	Visualizar lo que de otro modo sería invisible	Enfermería	(Aebersold et al., 2018)
Diseño con cuatro grupos (2 de control y tratamiento, un grupo antes y después, el otro solo con prueba posterior). Conocimiento evaluado por pruebas previas y posteriores, precisión de imágenes corporales evaluados por expertos	288	El sistema mejoró el aprendizaje del sistema musculoesquelético con una mejor retención del conocimiento y mayor tiempo en la tarea.	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial • Aprendizaje situado en contexto 	Anatomía	(Barmaki et al., 2019)
Ensayo controlado aleatorizado de doble centro. Se evaluaron las habilidades visoespaciales y el conocimiento anatómico	59	No hubo diferencias significativas en los resultados, pero la herramienta AR mostró un valor particular para aquellos con habilidades visoespaciales más bajas.	<ul style="list-style-type: none"> • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial 	Anatomía	(Bogomolova et al., 2020)
Uso de RA para el aprendizaje de la anatomía	20	Los estudiantes en general identificaron las ubicaciones correctas de los órganos significativamente mejor y más rápido.	<ul style="list-style-type: none"> • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial • Aprendizaje situado en contexto 	Anatomía	(Bork et al., 2017)
Diseño de prueba previa y posterior con preguntas de opción múltiple utilizadas para evaluar el aprendizaje utilizando secciones transversales de radiología en tres condiciones	72	Se logró mejoras significativas en las puntuaciones. También mostró un mayor beneficio para los estudiantes con baja rotación mental	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto negativo (riesgo, costo) • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial • Aprendizaje situado en contexto 	Radiología	(Bork et al., 2019)
Estudio prospectivo con dos grupos. Los participantes fueron evaluados en precisión y tiempo empleado para realizar mediciones de riñón utilizando una máquina de ultrasonido después del período de capacitación.	66	El uso de la aplicación móvil con fines de capacitación mejoró la calidad de las mediciones renales por ultrasonido. Hubo valores más grandes y realistas en el grupo de estudio y todas las medidas fueron válidas en el grupo de estudio, pero no en el grupo de control	Reducir el impacto negativo (riesgo, costo)	Ultrasonido	(Ebner et al., 2019)
Los participantes simulaban una biopsia de hígado y termoablación en dos condiciones. Se evaluó la precisión de la posición de la aguja	25	La proporción de inserciones fallidas de jeringas se redujo del 50 % al 30 % mediante el uso de la herramienta AR.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto negativo (riesgo, costo) • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial • Aprendizaje situado en contexto 	Cirugía	(Gierwialo et al., 2019)
Se administraron pruebas previas y posteriores de neuroanatomía a ambos grupos.	31	El grupo transversal tuvo una mejora significativa en los puntajes de las pruebas en comparación con los estudiantes de RA y experimentó una mayor carga cognitiva.	Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial	neuroanatomía	(Henssen et al., 2020)
Comparativa de resultados en el aprendizaje de neuroanatomía mediante pruebas de opción múltiple antes y después del estudio.	70	El grupo que utilizó aplicaciones móviles de RA (mAR) reportó mejor rendimiento y menor carga cognitiva.	Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial	neuroanatomía	(Küçük et al., 2016)
En un estudio de casos, los participantes realizaron seis orientaciones relevantes para colocar una copa acetabular hemisférica. Se	24	No hubo diferencias en el error entre participantes entrenados con RA o por un cirujano experto tras un programa de capacitación estructurado. Los	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto negativo (riesgo, costo) • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Aprendizaje situado en contexto 	Cirugía	(Logishetty et al., 2019)



evaluó su rendimiento y se midió el error de orientación en grados con una cámara de seguimiento montada en la cabeza.		estudiantes consideraron la RA como un complemento al aprendizaje con un cirujano experto para entrenamiento no supervisado.			
Se empleó un diseño pretest-postest de un solo grupo. Los estudiantes primero completaron una lección sobre anatomía del cráneo y, a continuación, realizaron una evaluación de conocimientos anatómicos.	59	No hubo diferencias significativas en las puntuaciones de evaluación entre RV o RA; los participantes en RV tuvieron más probabilidades de experimentar efectos adversos como dolores de cabeza, mareos o visión borrosa.	Aprendizaje situado en contexto.	Anatomía	(Moro et al., 2017)
Se empleó un diseño pretest-postest de un solo grupo.	24	Mejoras en el rendimiento de los alumnos tanto en la evaluación objetiva como subjetiva tras la formación	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto negativo (riesgo, costo) • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial 	Cirugía	(Mu et al., 2020)
Se empleó un diseño pretest-postest de un solo grupo.	44	Para las pruebas de opción única, no hubo diferencias significativas en el aprendizaje. en la prueba de seguimiento después de 14 días, el grupo experimental había retenido más conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Aprendizaje situado en contexto 	Dermatología	(Noll et al., 2017)
estudio de tipo cuasiexperimental, en el cual se evalúan las habilidades de los participantes en un entorno controlado, como un simulador. En este diseño, los participantes completaron 3 tareas en el simulador, y las medidas de resultado fueron la puntuación bruta total, el tiempo total transcurrido y el rendimiento.	28	El grupo AR superó al grupo de control en las 3 medidas evaluadas, pero el simulador no reemplaza completamente la experiencia real en el examen de pacientes.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto negativo (riesgo, costo) • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Aprendizaje situado en contexto 	oftalmoscopia	(Rai et al., 2017)
estudio de tipo cuasiexperimental	40	La habilidad para colocar agujas fue similar entre ambos grupos, pero los menos experimentados tendían a pinchar inadvertidamente la arteria carótida.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto negativo (riesgo, costo) • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial • Aprendizaje situado en contexto 	Cirugía	(Rochlen et al., 2017)
Ensayo controlado aleatorizado con cinco métricas de rendimiento objetivas en tiempo real.	45	Se demostró una diferencia significativa entre los grupos, ya que la cohorte de entrenamiento superó significativamente a la cohorte de control en tres métricas	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el impacto negativo (riesgo, costo) • Visualizar lo que de otro modo sería invisible • Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial 	Cirugía	(Sugand et al., 2019)
estudio cuasiexperimental de grupos paralelos asignó a los participantes a distintas condiciones de aprendizaje para enseñarles neuroanatomía clínica usando texto e imágenes de dos libros. La retención del aprendizaje visual fue evaluada como medida de resultado.	52	El grupo que uso RA mostró mayor retención de información nominal y espacial por al menos un mes en comparación con otros grupos.	Desarrollar habilidades prácticas en un contexto espacial	neuroanatomía	(C. Wang et al., 2020)

Fuente: Datos del estudio. Diagramado por el autor



Los estudios seleccionados abordan diversas formas en que las herramientas de Realidad Aumentada (RA) pueden contribuir a la educación de profesionales médicos. La medida en que las herramientas digitales pueden sustituir o mejorar el aprendizaje de conocimientos y habilidades médicas depende de numerosos factores. La RA suele utilizarse como un componente de la experiencia educativa, y su adopción generalmente se basa en las cualidades distintivas que aporta al proceso de aprendizaje. Estas propiedades respaldarán su posterior adopción como herramienta valiosa en la educación médica.

Además, la RA se emplea frecuentemente como parte de un sistema de simulación más amplio que permite el desarrollo y la práctica segura de habilidades prácticas y de diagnóstico. En este contexto, si existen limitaciones, estas suelen verse superadas por los beneficios de entrenar sin la necesidad de pacientes o cadáveres. Por ejemplo, el simulador EyeSI BIO RA no puede simular la depresión escleral, por lo que no puede sustituir por completo la experiencia de examen del paciente real. Sin embargo, la capacitación en oftalmoscopia indirecta binocular, una habilidad fundamental en oftalmología puede resultar tediosa y desafiante. Por lo tanto, el simulador RA cumple un papel valioso a pesar de sus limitaciones (Rai et al., 2017).

Si bien la RA puede no ser capaz de sustituir todas las actividades de aprendizaje, existen contextos en los que se encuentra en una posición única para brindar una experiencia de aprendizaje mejorada. Por ejemplo, muchos entrenadores basados en maniqués están limitados por la incapacidad del alumno para ver las estructuras anatómicas internas (Rochlen et al., 2017). Las herramientas de RA son especialmente sólidas en el área de permitir a los estudiantes de medicina "ver dentro" del cuerpo, por lo que un campo en el que la



RA se ha incorporado comúnmente a la educación médica es en la enseñanza de la anatomía.

Los estudios de revisión anteriores han tendido a centrarse en el nivel de aplicación de RA. Al analizar estos estudios desde una perspectiva de asequibilidad, podemos cambiar la discusión de las consideraciones a nivel de herramienta o dominio para examinar qué asequibilidades de RA pueden respaldar mejor los resultados del aprendizaje.

Al observar los estudios encontrados, se aprecia que la neuroanatomía es un campo de investigación relevante en estudios de realidad aumentada. Esto podría deberse a limitaciones financieras, éticas y de supervisión en el uso de cadáveres (Moro et al., 2017), así como a desafíos para obtener números suficientes para capacitación en anatomía. Sin embargo, la RA también puede ofrecer conocimientos adicionales a los estudiantes de anatomía (Küçük et al., 2016).

La cirugía es otra área de investigación popular, la RA se utiliza comúnmente en combinación con modelos físicos (Ebner et al., 2019; Mu et al., 2020) y simuladores para permitir a los estudiantes de medicina practicar habilidades específicas (Gierwiało et al., 2019). Estos estudios tienden a tener más éxito que aquellos en los que la RA solo funciona como visualización desvinculada de objetos físicos, resaltando la importancia del vínculo entre realidad y virtualidad proporcionado por la RA.

Estas áreas de enfoque son esperadas, ya que Kamphuis y col. (Kamphuis et al., 2014) identificaron la visualización de estructuras anatómicas humanas y la capacitación en habilidades quirúrgicas como áreas clave para aplicar la RA. También identificaron la visualización de sistemas complejos del cuerpo humano



como un área de interés. En nuestra muestra, tres artículos se relacionan con esta área: ecografía (Ebner et al., 2019), dermatología (Noll et al., 2017) y oftalmoscopia (Rai et al., 2017). Además, se incluyen artículos relacionados con teletutoría (Andersen et al., 2016), enfermería (Aebersold et al., 2018) y paramédicos que ubican correctamente el equipo médico (Koutitas et al., 2021).

La mayoría de los estudios que abordan la adquisición de conocimientos médicos se centran en la anatomía física o la neuroanatomía. Los estudios restantes miden la adquisición de conocimientos en dermatología, ecografía renal y paramedicina (ver Tabla 3). La medición de los resultados de aprendizaje en estos estudios se basa en la comparación de grupos experimentales y de control, a veces incluyendo tres condiciones diferentes o pruebas previas y posteriores en un solo grupo.

En los estudios donde el grupo experimental de RA no superó a otros grupos (Bork et al., 2019; Henssen et al., 2020; Logishetty et al., 2019), todavía se sugiere que la RA puede ser un complemento útil a otras condiciones de aprendizaje. Un aspecto adicional de estos estudios es la comparación entre la RA utilizada como sustituto de los materiales de aprendizaje y su uso para simular acciones físicas en un contexto de capacitación.

La investigación identifica diversos aportes específicos de la realidad aumentada (RA) en la educación médica, como la reducción de impactos negativos, riesgos y costos (tabla 3). Estos ahorros pueden derivarse de costos alternativos de equipos, capacitación o medios de aprendizaje (Koutitas et al., 2021).



Aunque la visualización de elementos invisibles es una característica de la RA, varios estudios comparan la RA con otras herramientas, lo que sugiere que hay alternativas para visualizar lo invisible, como la realidad virtual (Andersen et al., 2016). El aprendizaje contextualizado diferencia a la RA de la realidad virtual y se aplica en estudios que se centran en habilidades prácticas en un contexto espacial, pero no en situaciones donde la RA solo renderiza modelos 3D virtuales basados en un disparador (Henssen et al., 2020).

En relación con la asequibilidad y portabilidad del dispositivo, el aspecto clave es cómo mejora el aprendizaje en una ubicación específica (Andersen et al., 2016; Koutitas et al., 2021). La RA móvil facilita el aprendizaje fuera del aula y laboratorio, pero no necesariamente hace que el aprendizaje sea completamente portátil, como en el caso de Henssen y col. (Henssen et al., 2020).

La portabilidad en RA implica un aprendizaje contextualizado en un entorno con significado real para el estudiante, más allá de simplemente mover el dispositivo. Cuatro estudios no abordaron posibilidades específicas relevantes para la educación médica (Henssen et al., 2020; Moro et al., 2017; C. Wang et al., 2020). La RA fue utilizada solo como material de estudio, aunque existían alternativas disponibles. Estas características de RA no ofrecían prestaciones identificadas como potencialmente efectivas en este contexto.

En dos estudios se usaron materiales alternativos como texto o visualizaciones 3D y RV (Moro et al., 2017; C. Wang et al., 2020). En otro, la visualización RA reemplazó las secciones transversales del cerebro físico (Henssen et al., 2020). Los resultados de aprendizaje variaron, y algunos estudiantes indicaron que la visualización RA les ayudó en su aprendizaje. Un estudio (Aebersold et al., 2018)



cuestionó si era realmente un sistema RA. La terminología de RA debe ser utilizada con más cuidado por los investigadores en este campo.

Los sistemas de RA que ofrecieron alternativas de bajo costo a sistemas o expertos pudieron reemplazar efectivamente esas alternativas (Bork et al., 2019, 2019; Rai et al., 2017). La visualización de lo invisible desempeña un papel importante en el desarrollo de habilidades físicas (Aebersold et al., 2018; Bork et al., 2017, 2019; Ebner et al., 2019; Gierwiało et al., 2019; Logishetty et al., 2019; Mu et al., 2020; Rai et al., 2017; Sugand et al., 2019).

El desarrollo de habilidades puede ocurrir sin la visualización de objetos, como con indicaciones direccionales (Koutitas et al., 2021). La portabilidad de dispositivos de RA móvil varía, y los estudios enfocados en este aspecto aprovechan la capacidad única de hacer que el aprendizaje sea portátil (Andersen et al., 2016; Koutitas et al., 2021; Noll et al., 2017). El aprendizaje contextualizado en el entorno se vincula significativamente con el medio ambiente y puede incluir objetos reales o modelos y maniqués (Barmaki et al., 2019; Bork et al., 2017, 2019; Gierwiało et al., 2019, 2019; Logishetty et al., 2019; Noll et al., 2017).

5.3. Impacto de la realidad aumentada en la adquisición y el desarrollo de habilidades prácticas y clínicas

Un requisito fundamental para los egresados de medicina es que posean no solo un amplio y profundo conocimiento sobre el cuerpo humano, las enfermedades



y los procedimientos relacionados, sino también habilidades de comunicación, habilidades de examen físico, habilidades prácticas y habilidades clínicas.

A pesar de que la pedagogía y el currículo médicos actuales ofrecen profesionales médicos y sanitarios competentes, todavía existe margen para mejorar en el ámbito de la formación en habilidades prácticas y quirúrgicas; y la experiencia directa con los pacientes suele ser limitada o nula. Las prácticas clínicas han contribuido significativamente al desarrollo de las habilidades prácticas de los estudiantes, pero la escasa formación práctica puede dificultar su capacidad para dominar estos procedimientos (Baker et al., 2020).

Los modelos físicos suelen ayudar a cubrir esta brecha, y cada vez son más sofisticados y efectivos. Por ejemplo, un estudio realizado en la Escuela de Medicina de la Universidad de Carolina del Sur utilizó un Simulador de Paciente Cardiopulmonar llamado Harvey (es decir, un maniquí muy avanzado) y encontró que los estudiantes que fueron entrenados en habilidades de examen cardíaco usando el simulador obtuvieron mejores resultados (en exámenes que incluyen el USMLE y MCAT) que aquellos entrenados en maniquíes estándar o modelos de pacientes (Dhar et al., 2021; Kern et al., 2011). Sin embargo, modelos como estos pueden ser costosos y se requiere la implementación de nuevos recursos para mejorar las habilidades prácticas (De Simone et al., 2022).

La RA se está convirtiendo en un recurso valioso para alcanzar este propósito general, y hay varios estudios de cohortes que han demostrado que el aprendizaje de procedimientos prácticos como la cirugía con el uso de herramientas basadas en RA favorece el desarrollo y la competencia práctica en la educación y el entrenamiento médico. Estos programas también pueden facilitar la ejecución del



procedimiento quirúrgico en sí mismo, y pueden mostrar información anatómica específica del paciente obtenida a partir de imágenes diagnósticas, como en cirugías de columna (Ghaednia et al., 2021; Godzik et al., 2021).

Esta tecnología también puede apoyar la práctica y el entrenamiento de la biopsia de próstata transrectal, para ayudar a manejar el dispositivo asistido por robot (Velazco-Garcia et al., 2021). Existen varios programas basados en RA para la cirugía renal y el entrenamiento, incluyendo aquellos para ayudar a la educación del paciente (Esperto et al., 2021; Reis et al., 2021).

Wolf y col. (2021), describen el desarrollo reciente de un programa AR utilizando Microsoft HoloLens 2, para entrenar el procedimiento quirúrgico de canulación de oxigenación por membrana extracorpórea. En comparación con el entrenamiento convencional, los estudiantes de medicina que recibieron la versión AR mostraron un mayor nivel de aprendizaje y cometieron menos errores de procedimiento.

Por su parte, Nagayo y equipo de trabajo (2021), desarrollaron otra plataforma para el entrenamiento en cirugía abierta. Primero se registró el movimiento de los instrumentos quirúrgicos y la anatomía del paciente durante los procedimientos reales y luego se reconstruyó dentro de un programa AR. Una de las ventajas de la RA es que permite a los alumnos ajustar su visión para lograr perspectivas visuales adecuadas y controlar el ritmo del procedimiento al detenerlo o retrocederlo según su conveniencia. Así pueden concentrarse en las fases específicas que les interesan. Además, los estudiantes tienen la oportunidad de practicar por sí mismos manipulando los instrumentos quirúrgicos, indicaron los investigadores.

La medicina requiere de un extenso conocimiento sobre las relaciones sociales y el comportamiento humano, pues los futuros profesionales deben ejercer sus



funciones en diversos contextos de atención sanitaria. La RA ofrece una oportunidad única para preparar a los alumnos para situaciones sociales complejas en un entorno controlado y administrado. Asimismo, la RA favorece el desarrollo de competencias interprofesionales que son esenciales para los profesionales de la salud. Aunque usualmente la formación médica en RA se ha enfocado principalmente como una forma de incrementar el conocimiento y las habilidades prácticas, también provee escenarios valiosos para apoyar las habilidades sociales relacionadas con el trabajo (Bracq et al., 2019).

Otro ámbito en el que se ha demostrado el beneficio del entrenamiento de las habilidades no técnicas es el de la prevención y manejo de incendios en el quirófano. En este sentido, se realizó una simulación basada en realidad aumentada (AR) para preparar a los médicos de quirófano (cirujanos, anestesiólogos y enfermeras) para enfrentarse a este tipo de evento. La simulación consistió en recrear virtualmente las condiciones del fuego y las acciones necesarias para controlarlo. De los 49 participantes con diferentes niveles de experiencia clínica que completaron la simulación, más de dos tercios (67%) manifestaron su preferencia por el entrenamiento basado en AR frente al método tradicional del libro de texto (Dorozhkin et al., 2017). Este estudio muestra el potencial de la AR para mejorar la formación médica en situaciones críticas.

Los programas que utilizan la realidad aumentada (RA) tienen un enorme potencial para ofrecer un entrenamiento de alta calidad y complejidad que se centra en el desarrollo de habilidades sociales en diversos contextos. Sin embargo, la literatura existente carece de una evaluación adecuada de estos programas. Una reciente revisión sistemática señaló que, si bien la simulación basada en RA está



ganando terreno en la educación para la salud, hay poca evidencia empírica sobre su efecto en los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

La mayoría de los estudios realizados hasta ahora se han limitado a examinar la factibilidad y la validez percibida (Bracq et al., 2019). Este hallazgo sugiere que, a pesar de que algunos estudios preliminares han mostrado una gran utilidad de la RA para mejorar diferentes tipos de habilidades sociales, se necesitan más investigaciones comparativas para determinar cómo se podrían integrar estos programas en el ámbito de la formación médica virtual.

5.4. Desafíos y tendencias a futuro de la RA en la formación de médicos

La tecnología de RA ha demostrado ser una herramienta valiosa para el aprendizaje de enfermedades ortopédicas y otras áreas de la medicina. Sin embargo, su implementación en la educación médica superior se enfrenta a varios desafíos y limitaciones. Uno de ellos es el alto costo que implica el desarrollo de plataformas interactivas de RA que puedan satisfacer las demandas y expectativas de los estudiantes (Yilmaz, 2018). Otro es la escasez de recursos para hacer accesible y equitativa esta tecnología digital para todos los estudiantes, especialmente en contextos donde hay una gran cantidad de alumnos. Además, se requiere un hardware específico para utilizar la RA, lo que puede generar problemas de aislamiento social y falta de interacción humana en el proceso educativo (Fernandez, 2017; Maunder, 2018).



A pesar de estas dificultades, la RA ofrece grandes ventajas para la educación médica superior, ya que permite crear experiencias de aprendizaje centradas en el estudiante, motivadoras y enriquecedoras. La RA puede superar las limitaciones de las pedagogías tradicionales y proporcionar a los estudiantes la oportunidad de sumergirse en escenarios o situaciones reales o simuladas que faciliten su comprensión y aplicación del conocimiento (Xu et al., 2021). Un ejemplo innovador de esta posibilidad es el uso de libros de texto de RA en la educación médica, que permitirían a los estudiantes acceder a información tridimensional y multimedia sobre diferentes temas médicos (Campisi et al., 2020). Esta idea se planteó hace casi una década, pero su incorporación al currículo médico superior aún está en proceso y requiere más investigación y desarrollo (Liao et al., 2020; K. S. Tang et al., 2020).

La aplicación de la RA en el ámbito educativo tiene un gran potencial para facilitar el aprendizaje de contenidos complejos y abstractos, especialmente en el campo de la medicina. Los estudiantes podrían beneficiarse de la posibilidad de acceder y visualizar información sobre la anatomía y la fisiología humana de una manera más interactiva y dinámica (Dhar et al., 2021). Por ejemplo, podrían observar cómo funciona el cerebro y cómo se transmiten los impulsos nerviosos a través de las neuronas. Esto les permitiría tener una mejor comprensión y retención de los procesos fisiológicos del organismo humano. Además, al utilizar plataformas RA que permiten la colaboración entre varios usuarios, se podría reducir el aislamiento que a veces generan estas tecnologías y fomentar el trabajo en equipo entre los estudiantes.

Los libros con interfaz RA también podrían ser una alternativa más atractiva e innovadora a los libros de texto tradicionales, que suelen presentar el material de



aprendizaje de forma estática y monótona. De esta forma, los libros con interfaz RA podrían convertirse en una herramienta motivadora tanto para los estudiantes como para los docentes (Perez-Calañas et al., 2023).

Otra área emergente que ofrece muchas posibilidades para la educación médica es el aprendizaje móvil (m-learning) y la tecnología portátil. Estas modalidades permiten que el software basado en AR se pueda proveer en los dispositivos personales de los estudiantes, como teléfonos móviles, iPads, tabletas o relojes inteligentes. Esto supone una ventaja tanto desde el punto de vista pedagógico como económico, ya que facilita la adaptación e integración de esta tecnología en la educación médica y reduce los costes asociados a su implementación (Klímová, 2018).

La realidad aumentada también puede ser utilizada para desarrollar programas de enseñanza para personas con dificultades de lectura, lo que les permitiría superar las barreras del aprendizaje tradicional basado en libros de texto (Shaaban & Mohamed, 2023). Además, la RA también puede ser utilizada en contextos de aprendizaje remoto para transportar al usuario a un espacio virtual en cualquier lugar donde se pueda establecer una conexión a Internet (Mariscal et al., 2021).

A medida que las tecnologías de RA avanzan, será crucial hacerlas más asequibles. Esto se logrará mediante colaboraciones entre empresas y universidades y una mayor financiación para este sector. Un ejemplo clásico es el Laboratorio de Virtualidad Médica diseñado por el Instituto de Tecnologías Creativas de la Universidad del Sur de California (Dhar et al., 2021). El objetivo principal de este instituto es reunir a expertos en cine y juegos con científicos informáticos y



**Universidad
Europea** VALENCIA

sociales para crear y diseñar plataformas innovadoras para su uso en educación y capacitación en atención médica.

El campo de la RA ofrece oportunidades únicas para los educadores en el campo de la educación médica. Les permite crear planes de estudio ricos y atractivos que ofrecen a los estudiantes la oportunidad no solo de aprender sino también de experimentar el contenido/material de aprendizaje (Almenara & Marín-Díaz, 2018; Ferreira et al., 2021). Todo lo anterior, destaca la importancia crítica que tienen estas tecnologías digitales para garantizar que el aprendizaje no se vea obstaculizado.



6. CONCLUSIONES

Este trabajo evaluó la efectividad de la Realidad Aumentada (RA) en la formación universitaria de nuevos médicos. A pesar de encontrar más de 10 mil trabajos académicos en la revisión, solo 42 hacían referencia directa al uso de RA, lo que indica que aún hay mucho por investigar en este campo.

Según los hallazgos, el tiempo de desempeño, la confianza y la satisfacción de los estudiantes de medicina pueden mejorar mediante el uso de métodos de capacitación y educación basados en RA. Sin embargo, no se encontró una diferencia estadística significativa entre las habilidades y el conocimiento adquiridos mediante el entrenamiento con RA y los obtenidos a través de métodos convencionales.

Por lo tanto, se recomienda adoptar el uso de RA en la capacitación médica debido a su efecto significativo en el tiempo de desempeño. La RA debe utilizarse para ampliar el conocimiento y como complemento a otros enfoques para mejorar la calidad y seguridad en la práctica clínica. Es importante destacar que existen lagunas considerables en la literatura sobre el uso de RA en formación médica y se necesitan más esfuerzos investigativos.

La revisión narrativa descrita revela hallazgos significativos sobre el uso de RA en educación médica. Se incluyeron trabajos recientes publicados desde 2017 hasta este año 2023, lo que sugiere un creciente interés por esta área dentro del campo médico.



Algunos hallazgos de esta revisión refuerzan los de revisiones anteriores, como la tendencia a centrarse en áreas de anatomía y cirugía. Sin embargo, también se cubrieron otras especialidades y puede ser una rica área de investigación futura el invertir en nuevos enfoques para la capacitación médica usando RA en áreas más allá de estas.

Se observó una amplia gama de herramientas de RA utilizadas en los estudios, desde visualizaciones basadas en tabletas hasta complejos simuladores con tecnologías integradas como gafas inteligentes y proyección.

En cuanto al análisis de las posibilidades, se encontró que los estudios que no abordaron posibilidades clave identificadas como relevantes para la educación médica mostraron resultados deficientes. Por el contrario, aquellos que aprovecharon estas posibilidades revelaron resultados positivos. Por lo tanto, prestar atención a las posibilidades de RA al diseñar sistemas para educación médica puede proporcionar beneficios.

El uso de RA en educación médica está en sus primeras etapas y carece de evidencia para su implementación generalizada. Se sugiere adoptar diseños rigurosos y estandarizados para evaluar su eficacia y permitir su integración más fácil en planes de estudio.

Esta revisión de alcance proporcionó una descripción general de la literatura sobre la implementación de realidad virtual en educación en profesiones de la salud. Los artículos incluidos ofrecieron recomendaciones sobre participación colaborativa, disponibilidad, gastos, pautas, tecnología, diseño y capacitación.



Las recomendaciones para implementar realidad virtual en educación en profesiones de la salud buscan garantizar la competencia de profesores y estudiantes con la última tecnología. Una capacitación bien planificada puede mejorar las habilidades cognitivas y la participación colaborativa con usuarios finales puede garantizar una implementación exitosa.

Para asegurar motivación y potencial para usar realidad virtual se podría invitar a profesores y estudiantes a participar desde el inicio del proceso de desarrollo. Los desafíos tecnológicos y problemas de usabilidad deben resolverse antes de la implementación para enfocarse en el contenido pedagógico. Esto destaca la importancia de pruebas piloto y recursos suficientes antes de implementar.

La implementación actualmente es costosa y requiere tiempo por lo que análisis costo-beneficio pueden ser valiosos.

Según los hallazgos, la implementación de realidad virtual en educación en profesiones de la salud es un campo nuevo y poco explorado. Se necesitan más estudios que investiguen el interés, intención y motivación individuales, así como la valoración colectiva y compromiso con la implementación.

Debido a la escasa investigación en esta área, se sugiere seguir investigando estrategias viables y efectivas para implementar realidad virtual en educación en profesiones de la salud. Encontrar una definición común del término también sería valioso para facilitar el examen de procesos de implementación.

La presencia y el alumno motivado que emplea una acción deliberada son conceptos importantes en relación con el uso de tecnología inmersiva en educación sanitaria. Esta revisión indica que la tecnología puede mejorar el aprendizaje en



Universidad
Europea VALENCIA

diversas especialidades médicas con evidencia de nivel medio. La pedagogía apoya el uso de tecnología inmersiva que puede replicar experiencias clínicas e involucrar a estudiantes con resultados objetivos y subjetivos evidentes.



7. BIBLIOGRAFÍA

- Aebersold, M., Voepel-Lewis, T., Cherara, L., Weber, M., Khouri, C., Levine, R., & Tait, A. R. (2018). Interactive Anatomy-Augmented Virtual Simulation Training. *Clinical Simulation in Nursing*, 15, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2017.09.008>
- Aguilera Eguía, R. (2014). ¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis? *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 21(6), 359-360. <https://doi.org/10.4321/S1134-80462014000600010>
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>



Alfonso-Garcia, A., Bec, J., Sridharan Weaver, S., Hartl, B., Unger, J., Bobinski, M., Lechpammer, M., Girgis, F., Boggan, J., & Marcu, L. (2020). Real-time augmented reality for delineation of surgical margins during neurosurgery using autofluorescence lifetime contrast. *Journal of Biophotonics*, 13(1), e201900108. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900108>

Al-hassan, H. A. A., H.Suad, J., & Ali, H. H. (2020). Augmented Reality Technology in Education. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928(3), 032065. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/3/032065>

Almenara, J. C., & Marín-Díaz, V. (2018). Blended learning y realidad aumentada: Experiencias de diseño docente. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 21(1), 57-74.

Andersen, D., Popescu, V., Cabrera, M. E., Shanghavi, A., Gomez, G., Marley, S., Mullis, B., & Wachs, J. P. (2016). Medical telementoring using an augmented reality transparent display. *Surgery*, 159(6), 1646-1653. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2015.12.016>

Ayaz, O., & Ismail, F. W. (2022). Healthcare Simulation: A Key to the Future of Medical Education – A Review. *Advances in Medical Education and Practice*, 13, 301-308. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S353777>



Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
<https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

Baker, D., Deekonda, P., Glasbey, J., Humm, G., Mohan, H., Nally, D., Srikandarajah, N., Storey, B., Walker, N., Brown, S., Hughes, I., Peiris, B., Tailor, B., Vithlani, G., Wcislo, K., Webb, S., Adams, N., Ahmed, W.-U.-R., Azam, S., ... Zagan, A. (2020). Core content of the medical school surgical curriculum: Consensus report from the association of surgeons in training (ASIT). *International Journal of Surgery*, 84, 186-193.
<https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2019.12.036>

Balian, S., McGovern, S. K., Abella, B. S., Blewer, A. L., & Leary, M. (2019). Feasibility of an augmented reality cardiopulmonary resuscitation training system for health care providers. *Heliyon*, 5(8), e02205.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02205>

Barmaki, R., Yu, K., Pearlman, R., Shingles, R., Bork, F., Osgood, G. M., & Navab, N. (2019). Enhancement of Anatomical Education Using Augmented Reality: An Empirical Study of Body Painting. *Anatomical Sciences Education*, 12(6), 599-609. <https://doi.org/10.1002/ase.1858>



- Barsom, E. Z., Graafland, M., & Schijven, M. P. (2016). Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. *Surgical Endoscopy*, 30(10), 4174-4183. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4800-6>
- Bauer, A., Dicko, A.-H., Faure, F., Palombi, O., & Troccaz, J. (2016). *Anatomical Mirroring: Real-time User-specific Anatomy in Motion Using a Commodity Depth Camera*. <https://doi.org/10.1145/2994258.2994259>
- Bernhardt, S., Nicolau, S. A., Soler, L., & Doignon, C. (2017). The status of augmented reality in laparoscopic surgery as of 2016. *Medical Image Analysis*, 37, 66-90. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.01.007>
- Birbara, N. S., Sammut, C., & Pather, N. (2020). Virtual Reality in Anatomy: A Pilot Study Evaluating Different Delivery Modalities. *Anatomical Sciences Education*, 13(4), 445-457. <https://doi.org/10.1002/ase.1921>
- Bogomolova, K., van der Ham, I. J. M., Dankbaar, M. E. W., van den Broek, W. W., Hovius, S. E. R., van der Hage, J. A., & Hierck, B. P. (2020). The Effect of Stereoscopic Augmented Reality Visualization on Learning Anatomy and the Modifying Effect of Visual-Spatial Abilities: A Double-Center Randomized Controlled Trial. *Anatomical Sciences Education*, 13(5), 558-567. <https://doi.org/10.1002/ase.1941>



- Bork, F., Barmaki, R., Eck, U., Yu, K., Sandor, C., & Navab, N. (2017). Empirical Study of Non-Reversing Magic Mirrors for Augmented Reality Anatomy Learning. *2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 169-176. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2017.33>
- Bork, F., Stratmann, L., Enssle, S., Eck, U., Navab, N., Waschke, J., & Kugelmann, D. (2019). The Benefits of an Augmented Reality Magic Mirror System for Integrated Radiology Teaching in Gross Anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 12(6), 585-598. <https://doi.org/10.1002/ase.1864>
- Boud, A. C., Haniff, D. J., Baber, C., & Steiner, S. J. (1999). Virtual reality and augmented reality as a training tool for assembly tasks. *1999 IEEE International Conference on Information Visualization (Cat. No. PR00210)*, 32-36. <https://doi.org/10.1109/IV.1999.781532>
- Bracq, M.-S., Michinov, E., & Jannin, P. (2019). Virtual Reality Simulation in Nontechnical Skills Training for Healthcare Professionals: A Systematic Review. *Simulation in Healthcare*, 14(3), 188. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000347>
- Cai, S., Chiang, F.-K., Sun, Y., Lin, C., & Lee, J. J. (2017). Applications of augmented reality-based natural interactive learning in magnetic field instruction.



Campisi, C. A., Li, E. H., Jimenez, D. E., & Milanaik, R. L. (2020). Augmented Reality in Medical Education and Training: From Physicians to Patients. En V. Geroimenko (Ed.), *Augmented Reality in Education: A New Technology for Teaching and Learning* (pp. 111-138). Springer International Publishing.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4_7

Carmigniani, J., & Furht, B. (2011). Augmented Reality: An Overview. En B. Furht (Ed.), *Handbook of Augmented Reality* (pp. 3-46). Springer New York.

https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0064-6_1

Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, ii, 659-669 vol.2.

<https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>

Chen, Po., Gadepalli, K., MacDonald, R., Liu, Y., Kadowaki, S., Nagpal, K., Kohlberger, T., Dean, J., Corrado, G. S., Hipp, J. D., Mermel, C. H., & Stumpe, M. C. (2019). An augmented reality microscope with real-time artificial



intelligence integration for cancer diagnosis. *Nature Medicine*, 25(9), Article 9. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0539-7>

Chen, Y., Wang, Q., Chen, H., Song, X., Tang, H., & Tian, M. (2019). An overview of augmented reality technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1237(2), 022082. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1237/2/022082>

Cheng, K.-H., & Tsai, C.-C. (2013). Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449-462. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9405-9>

Chytas, D., Johnson, E. O., Piagkou, M., Mazarakis, A., Babis, G. C., Chronopoulos, E., Nikolaou, V. S., Lazaridis, N., & Natsis, K. (2020). The role of augmented reality in Anatomical education: An overview. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 229, 151463. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151463>

Citardi, M. J., Agbetoba, A., Bigcas, J.-L., & Luong, A. (2016). Augmented reality for endoscopic sinus surgery with surgical navigation: A cadaver study. *International Forum of Allergy & Rhinology*, 6(5), 523-528. <https://doi.org/10.1002/alr.21702>



Couperus, K., Young, S., Walsh, R., Kang, C., Skinner, C., Essendrop, R., Fiala, K., Phelps, J. F., Sletten, Z., Esposito, M. T., Bothwell, J., Gorbatkin, C., Couperus, K., Young, S., Walsh, R., Kang, C., Skinner, C., Essendrop, R., Fiala, K., ... Gorbatkin, C. (2020). Immersive Virtual Reality Medical Simulation: Autonomous Trauma Training Simulator. *Cureus Journal of Medical Science*, 12(5). <https://doi.org/10.7759/cureus.8062>

Cowin, J. B. (2020). Digital Worlds and Transformative Learning: Google Expeditions, Google Arts and Culture, and the Merge Cube. *International Research and Review*, 10(1), 42-53.

Cranmer, E. E., tom Dieck, M. C., & Jung, T. (2018). How can Tourist Attractions Profit from Augmented Reality? En T. Jung & M. C. tom Dieck (Eds.), *Augmented Reality and Virtual Reality* (pp. 21-32). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64027-3_2

Dacko, S. G. (2017). Enabling smart retail settings via mobile augmented reality shopping apps. *Technological Forecasting and Social Change*, 124, 243-256. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.032>

Dascal, J., Reid, M., IsHak, W. W., Spiegel, B., Recacho, J., Rosen, B., & Danovitch, I. (2017). Virtual Reality and Medical Inpatients: A Systematic Review of



Randomized, Controlled Trials. *Innovations in Clinical Neuroscience*, 14(1-2), 14-21.

Datta, R., Upadhyay, K., & Jaideep, C. (2012). Simulation and its role in medical education. *Medical Journal Armed Forces India*, 68(2), 167-172.
[https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(12\)60040-9](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(12)60040-9)

De Paolis, L. T., & Mongelli, A. (Eds.). (2016). *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics: Third International Conference, AVR 2016, Lecce, Italy, June 15-18, 2016. Proceedings, Part I* (Vol. 9768). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-40621-3>

De Simone, B., Chouillard, E., Gumbs, A. A., Loftus, T. J., Kaafarani, H., & Catena, F. (2022). Artificial intelligence in surgery: The emergency surgeon's perspective (the ARIES project). *Discover Health Systems*, 1(1), 9.
<https://doi.org/10.1007/s44250-022-00014-6>

Dehghani, M., Mohammadhasani, N., Hoseinzade Ghalevandi, M., & Azimi, E. (2020). Applying AR-based infographics to enhance learning of the heart and cardiac cycle in biology class. *Interactive Learning Environments*, 0(0), 1-16.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1765394>



- Dhar, P., Rocks, T., Samarasinghe, R. M., Stephenson, G., & Smith, C. (2021). Augmented reality in medical education: Students' experiences and learning outcomes. *Medical Education Online*, 26(1), 1953953. <https://doi.org/10.1080/10872981.2021.1953953>
- Dieckmann, P., Gaba, D., & Rall, M. (2007). Deepening the Theoretical Foundations of Patient Simulation as Social Practice. *Simulation in Healthcare*, 2(3), 183. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3180f637f5>
- Dorozhkin, D., Olasky, J., Jones, D. B., Schwaitzberg, S. D., Jones, S. B., Cao, C. G. L., Molina, M., Henriques, S., Wang, J., Flinn, J., De, S., & The SAGES FUSE Committee. (2017). OR fire virtual training simulator: Design and face validity. *Surgical Endoscopy*, 31(9), 3527-3533. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-5379-7>
- Ebner, F., De Gregorio, A., Schochter, F., Bekes, I., Janni, W., & Lato, K. (2019). Effect of an Augmented Reality Ultrasound Trainer App on the Motor Skills Needed for a Kidney Ultrasound: Prospective Trial. *JMIR Serious Games*, 7(2), e12713. <https://doi.org/10.2196/12713>
- Esperto, F., Prata, F., Autrán-Gómez, A. M., Rivas, J. G., Socarras, M., Marchioni, M., Albisinni, S., Cataldo, R., Scarpa, R. M., & Papalia, R. (2021). New



Technologies for Kidney Surgery Planning 3D, Impression, Augmented Reality 3D, Reconstruction: Current Realities and Expectations. *Current Urology Reports*, 22(7), 35. <https://doi.org/10.1007/s11934-021-01052-y>

Evans, L., & Taubert, M. (2019). State of the science: The doll is dead: simulation in palliative care education. *BMJ Supportive & Palliative Care*, 9(2), 117-119. <https://doi.org/10.1136/bmjspcare-2018-001595>

Falah, J., Charissis, V., Khan, S., Chan, W., Alfalah, S. F. M., & Harrison, D. K. (2015). Development and Evaluation of Virtual Reality Medical Training System for Anatomy Education. En K. Arai, S. Kapoor, & R. Bhatia (Eds.), *Intelligent Systems in Science and Information 2014* (pp. 369-383). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14654-6_23

Fernandez, M. (2017). Augmented-Virtual Reality: How to improve education systems. *Higher Learning Research Communications*, 7, 1. <https://doi.org/10.18870/hlrc.v7i1.373>

Ferreira, R., Campanari, R., & Rodrigues, A. (2021). La realidad virtual como herramienta para la educación básica y profesional. *Revista Científica General* José María Córdova, 19(33).



http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-65862021000100223

Ferrer-Torregrosa, J., Jiménez-Rodríguez, M. Á., Torralba-Estelles, J., Garzón-Farinós, F., Pérez-Bermejo, M., & Fernández-Ehrling, N. (2016). Distance learning ects and flipped classroom in the anatomy learning: Comparative study of the use of augmented reality, video and notes. *BMC Medical Education*, 16(1), 230. <https://doi.org/10.1186/s12909-016-0757-3>

Ferrer-Torregrosa, J., Torralba, J., Jimenez, M. A., García, S., & Barcia, J. M. (2015). ARBOOK: Development and Assessment of a Tool Based on Augmented Reality for Anatomy. *Journal of Science Education and Technology*, 24(1), 119-124. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9526-4>

Fischer, F., & Opitz, A. (Eds.). (2022). *Impact of clinical case simulation on problem solving by future physicians. Examples from Teacher Education and Medical Education*. Springer International Publishing. <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://library.oopen.org/bitstream/handle/20.500.12657/52839/1/978-3-030-89147-3.pdf>

Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, Ós., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A Review on Industrial Augmented Reality Systems



for the Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access*, 6, 13358-13375.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2808326>

Gargrish, S., Kaur, D. P., Mantri, A., Singh, G., & Sharma, B. (2021). Measuring effectiveness of augmented reality-based geometry learning assistant on memory retention abilities of the students in 3D geometry. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(6), 1811-1824.
<https://doi.org/10.1002/cae.22424>

Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*, 23(4), 447-459.
<https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>

Georgiou, Y., & Kyza, E. A. (2017). The development and validation of the ARI questionnaire: An instrument for measuring immersion in location-based augmented reality settings. *International Journal of Human-Computer Studies*, 98, 24-37. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.09.014>

Gerup, J., Soerensen, C. B., & Dieckmann, P. (2020). Augmented reality and mixed reality for healthcare education beyond surgery: An integrative review. *International Journal of Medical Education*, 11, 1-18.
<https://doi.org/10.5116/ijme.5e01.eb1a>



Ghaednia, H., Fourman, M. S., Lans, A., Detels, K., Dijkstra, H., Lloyd, S., Sweeney, A., Oosterhoff, J. H. F., & Schwab, J. H. (2021). Augmented and virtual reality in spine surgery, current applications and future potentials. *The Spine Journal*, 21(10), 1617-1625. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.03.018>

Gierwiało, R., Witkowski, M., Kosieradzki, M., Lisik, W., Groszkowski, Ł., & Sitnik, R. (2019). Medical Augmented-Reality Visualizer for Surgical Training and Education in Medicine. *Applied Sciences*, 9(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/app9132732>

Godzik, J., Farber, S. H., Urakov, T., Steinberger, J., Knipscher, L. J., Ehredt, R. B., Tumialán, L. M., & Uribe, J. S. (2021). “Disruptive Technology” in Spine Surgery and Education: Virtual and Augmented Reality. *Operative Neurosurgery*, 21(Supplement_1), S85. <https://doi.org/10.1093/ons/opab114>

Grabowski, A., & Jankowski, J. (2015). Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science*, 72, 310-314. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.09.017>

Hackett, M., & Proctor, M. (2016). Three-Dimensional Display Technologies for Anatomical Education: A Literature Review. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 641-654. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9619-3>



Henssen, D. J. H. A., van den Heuvel, L., De Jong, G., Vorstenbosch, M. A. T. M., van Cappellen van Walsum, A.-M., Van den Hurk, M. M., Kooloos, J. G. M., & Bartels, R. H. M. A. (2020). Neuroanatomy Learning: Augmented Reality vs. Cross-Sections. *Anatomical Sciences Education*, 13(3), 353-365. <https://doi.org/10.1002/ase.1912>

Hung, S.-W., Chang, C.-W., & Ma, Y.-C. (2021). A new reality: Exploring continuance intention to use mobile augmented reality for entertainment purposes. *Technology in Society*, 67, 101757. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101757>

Hussain, R., Lalande, A., Guigou, C., & Bozorg Grayeli, A. (2019). Contribution of Augmented Reality to Minimally Invasive Computer-Assisted Cranial Base Surgery. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 1-1. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2954003>

Hussain, R., Lalande, A., Marroquin, R., Girum, K. B., Guigou, C., & Grayeli, A. B. (2018). *Real-Time Augmented Reality for Ear Surgery*. 324. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00937-3_38

Ibáñez, M.-B., Di-Serio, Á., Villarán-Molina, D., & Delgado-Kloos, C. (2016). Support for Augmented Reality Simulation Systems: The Effects of Scaffolding on



Learning Outcomes and Behavior Patterns. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 9(1), 46-56. <https://doi.org/10.1109/TLT.2015.2445761>

Ibañez-Etxeberria, A., Gómez-Carrasco, C. J., Fontal, O., & García-Ceballos, S. (2020). Virtual Environments and Augmented Reality Applied to Heritage Education. An Evaluative Study. *Applied Sciences*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/app10072352>

Ingrassia, P. L., Mormando, G., Giudici, E., Strada, F., Carfagna, F., Lamberti, F., & Bottino, A. (2020). Augmented Reality Learning Environment for Basic Life Support and Defibrillation Training: Usability Study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(5), e14910. <https://doi.org/10.2196/14910>

Jamali, S. S., Shiratuddin, M. F., Wong, K. W., & Oskam, C. L. (2015). Utilising Mobile-Augmented Reality for Learning Human Anatomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197, 659-668. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.054>

Javornik, A. (2016). Augmented reality: Research agenda for studying the impact of its media characteristics on consumer behaviour. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 30, 252-261. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.02.004>



Jeffries, P. (2022). *Clinical Simulations in Nursing Education: Advanced Concepts, Trends, and Opportunities*. Lippincott Williams & Wilkins.

Kamphuis, C., Barsom, E., Schijven, M., & Christoph, N. (2014). Augmented reality in medical education? *Perspectives on Medical Education*, 3(4), 300-311. <https://doi.org/10.1007/s40037-013-0107-7>

Kern, D. H., Mainous, A. G., Carey, M., & Beddingfield, A. (2011). Simulation-Based Teaching to Improve Cardiovascular Exam Skills Performance Among Third-Year Medical Students. *Teaching and Learning in Medicine*, 23(1), 15-20. <https://doi.org/10.1080/10401334.2011.536753>

Kim, S. K., Lee, Y., Yoon, H., & Choi, J. (2021). Adaptation of Extended Reality Smart Glasses for Core Nursing Skill Training Among Undergraduate Nursing Students: Usability and Feasibility Study. *Journal of Medical Internet Research*, 23(3), e24313. <https://doi.org/10.2196/24313>

Kiourexidou, M., Natsis, K., Bamidis, P., Antonopoulos, N., Papathanasiou, E., Sgantzios, M., & Veglis, A. (2015). Augmented Reality for the Study of Human Heart Anatomy. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 6, 2278-4209.



- Klímová, B. (2018). Mobile Learning in Medical Education. *Journal of Medical Systems*, 42(10), 194. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1056-9>
- Klinker, K., Wiesche, M., & Krcmar, H. (2020). Digital Transformation in Health Care: Augmented Reality for Hands-Free Service Innovation. *Information Systems Frontiers*, 22(6), 1419-1431. <https://doi.org/10.1007/s10796-019-09937-7>
- Koutitas, G., Smith, S., & Lawrence, G. (2021). Performance evaluation of AR/VR training technologies for EMS first responders. *Virtual Reality*, 25(1), 83-94. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00436-8>
- Küçük, S., Kapakin, S., & Göktaş, Y. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411-421. <https://doi.org/10.1002/ase.1603>
- Kurniawan, M. H., Suharjito, Diana, & Witjaksono, G. (2018). Human Anatomy Learning Systems Using Augmented Reality on Mobile Application. *Procedia Computer Science*, 135, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.152>
- Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, 56(2), 13-21. <https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>



- Lee, L., Kim, M., & Hwang, W. (2019). Potential of Augmented Reality and Virtual Reality Technologies to Promote Wellbeing in Older Adults. *Applied Sciences*, 9(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/app9173556>
- Liao, T., Chang, P. F., & Lee, S. (2020). Chapter 6 - Augmented reality in health and medicine: A review of augmented reality application for health professionals, procedures, and behavioral interventions. En J. Kim & H. Song (Eds.), *Technology and Health* (pp. 109-128). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816958-2.00006-X>
- Logishetty, K., Western, L., Morgan, R., Iranpour, F., Cobb, J. P., & Auvinet, E. (2019). Can an Augmented Reality Headset Improve Accuracy of Acetabular Cup Orientation in Simulated THA? A Randomized Trial. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 477(5), 1190-1199. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000542>
- Ma, M., Fallavollita, P., Seelbach, I., Von Der Heide, A. M., Euler, E., Waschke, J., & Navab, N. (2016). Personalized augmented reality for anatomy education. *Clinical Anatomy*, 29(4), 446-453. <https://doi.org/10.1002/ca.22675>



Mariscal, G., Jiménez, E., Vivas-Urias, M., Redondo-Duarte, S., & Moreno-Pérez, S. (2021). Aprendizaje basado en simulación con realidad virtual. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 21(15). <https://doi.org/10.14201/eks.23004>

Marroquin, R., Lalande, A., Hussain, R., Guigou, C., & Grayeli, A. B. (2018). Augmented Reality of the Middle Ear Combining Otoendoscopy and Temporal Bone Computed Tomography. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 39(8), 931-939. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001922>

Maunder, R. E. (2018). Students' peer relationships and their contribution to university adjustment: The need to belong in the university community. *Journal of Further and Higher Education*, 42(6), 756-768. <https://doi.org/10.1080/0309877X.2017.1311996>

McCormick, H., Cartwright, J., Perry, P., Barnes, L., Lynch, S., & Ball, G. (2014). Fashion retailing – past, present and future. *Textile Progress*, 46(3), 227-321. <https://doi.org/10.1080/00405167.2014.973247>

Metcalf, D., Milliard, S. T. J., Gomez, M., & Schwartz, M. (2016). Wearables and the Internet of Things for Health: Wearable, Interconnected Devices Promise



More Efficient and Comprehensive Health Care. *IEEE Pulse*, 7(5), 35-39.

<https://doi.org/10.1109/MPUL.2016.2592260>

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays.

IEICE Trans. Information Systems, E77-D, n.º 12, 1321-1329.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). *Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum* (H. Das, Ed.; pp. 282-292).

<https://doi.org/10.1117/12.197321>

Miller, M., & Clark, A. (2018). Happily entangled: Prediction, emotion, and the embodied mind. *Synthese*, 195(6), 2559-2575.

<https://doi.org/10.1007/s11229-017-1399-7>

Mirchi, N., Bissonnette, V., Yilmaz, R., Ledwos, N., Winkler-Schwartz, A., & Maestro, R. F. D. (2020). The Virtual Operative Assistant: An explainable artificial intelligence tool for simulation-based training in surgery and medicine. *PLOS ONE*, 15(2), e0229596. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229596>

Montague, Y. (2022). Chapter 06. Instructional Applications of Augmented and Virtual Reality. *Instructional Message Design: Theory, Research, and Practice* (Volume 2).

https://digitalcommons.odu.edu/instructional_message_design_vol2/6



- Monterubbianesi, R., Tosco, V., Vitiello, F., Orilisi, G., Fraccastoro, F., Putignano, A., & Orsini, G. (2022). Augmented, Virtual and Mixed Reality in Dentistry: A Narrative Review on the Existing Platforms and Future Challenges. *Applied Sciences*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/app12020877>
- Moro, C., Birt, J., Stromberga, Z., Phelps, C., Clark, J., Glasziou, P., & Scott, A. M. (2021). Virtual and Augmented Reality Enhancements to Medical and Science Student Physiology and Anatomy Test Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Anatomical Sciences Education*, 14(3), 368-376. <https://doi.org/10.1002/ase.2049>
- Moro, C., Phelps, C., Redmond, P., & Stromberga, Z. (2021). HoloLens and mobile augmented reality in medical and health science education: A randomised controlled trial. *British Journal of Educational Technology*, 52(2), 680-694. <https://doi.org/10.1111/bjet.13049>
- Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 549-559. <https://doi.org/10.1002/ase.1696>



Mosadeghi, S., Reid, M. W., Martinez, B., Rosen, B. T., & Spiegel, B. M. R. (2016).

Feasibility of an Immersive Virtual Reality Intervention for Hospitalized Patients: An Observational Cohort Study. *JMIR Mental Health*, 3(2), e5801. <https://doi.org/10.2196/mental.5801>

Mu, Y., Hocking, D., Wang, Z. T., Garvin, G. J., Eagleson, R., & Peters, T. M. (2020).

Augmented reality simulator for ultrasound-guided percutaneous renal access. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 15(5), 749-757. <https://doi.org/10.1007/s11548-020-02142-x>

Muangpoon, T., Haghghi Osgouei, R., Escobar-Castillejos, D., Kontovounisios, C.,

& Bello, F. (2020). Augmented Reality System for Digital Rectal Examination Training and Assessment: System Validation. *Journal of Medical Internet Research*, 22(8), e18637. <https://doi.org/10.2196/18637>

Mumtaz, K., Iqbal, M. M., Khalid, S., Rafiq, T., Owais, S. M., & Achhab, M. A. (2017).

An E-Assessment Framework for Blended Learning with Augmented Reality to Enhance the Student Learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(8), 4419-4436. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00938a>



Munzer, B. W., Khan, M. M., Shipman, B., & Mahajan, P. (2019). Augmented Reality in Emergency Medicine: A Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research, 21*(4), e12368. <https://doi.org/10.2196/12368>

Murugesan, Y. P., Alsadoon, A., Manoranjan, P., & Prasad, P. W. C. (2018). A novel rotational matrix and translation vector algorithm: Geometric accuracy for augmented reality in oral and maxillofacial surgeries. *The International Journal of Medical Robotics + Computer Assisted Surgery: MRCAS, 14*(3), e1889. <https://doi.org/10.1002/rcs.1889>

Nagayo, Y., Saito, T., & Oyama, H. (2021). A Novel Suture Training System for Open Surgery Replicating Procedures Performed by Experts Using Augmented Reality. *Journal of Medical Systems, 45*(5), 60. <https://doi.org/10.1007/s10916-021-01735-6>

Narang, K., Imsirovic, A., Dhanda, J., & Smith, C. F. (2023). Virtual Reality for Anatomy and Surgical Teaching. En O. Varsou, P. M. Rea, & M. Welsh (Eds.), *Biomedical Visualisation: Volume 14 – COVID-19 Technology and Visualisation Adaptations for Biomedical Teaching* (pp. 135-149). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17135-2_8



Nasseef, O. A., Baabdullah, A. M., Alalwan, A. A., Lal, B., & Dwivedi, Y. K. (2022).

Artificial intelligence-based public healthcare systems: G2G knowledge-based exchange to enhance the decision-making process. *Government Information Quarterly*, 39(4), 101618.

<https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101618>

Noll, C., von Jan, U., Raap, U., & Albrecht, U.-V. (2017). Mobile Augmented Reality

as a Feature for Self-Oriented, Blended Learning in Medicine: Randomized Controlled Trial. *JMIR MHealth and UHealth*, 5(9), e139.

<https://doi.org/10.2196/mhealth.7943>

Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic

review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228.

<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>

Pelargos, P. E., Nagasawa, D. T., Lagman, C., Tenn, S., Demos, J. V., Lee, S. J.,

Bui, T. T., Barnette, N. E., Bhatt, N. S., Ung, N., Bari, A., Martin, N. A., & Yang, I. (2017). Utilizing virtual and augmented reality for educational and

clinical enhancements in neurosurgery. *Journal of Clinical Neuroscience*, 35,

1-4. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2016.09.002>



Perez-Calañas, C., Hernández-Garrido, R., Perea, D., & Rodríguez-Perez, Á. M. (2023). Augmented Reality (AR) in Education: An Exploratory Analysis. En F. Cavas-Martínez, M. D. Marín Granados, R. Mirálbes Buil, & O. D. de-Cózar-Macías (Eds.), *Advances in Design Engineering III* (pp. 703-710). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20325-1_54

Peters, M., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A., & Khalil, H. (2020). Scoping reviews (2020 version). En A. Munn (Ed.), *JBI Manual for Evidence Synthesis*. JBI. <https://jbi-global-wiki.refined.site/space/MANUAL/4687342/Chapter+11%3A+Scoping+reviews>

Rai, A. S., Rai, A. S., Mavrikakis, E., & Lam, W. C. (2017). Teaching binocular indirect ophthalmoscopy to novice residents using an augmented reality simulator. *Canadian Journal of Ophthalmology. Journal Canadien D'ophtalmologie*, 52(5), 430-434. <https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2017.02.015>

Reis, G., Yilmaz, M., Rambach, J., Pagani, A., Suarez-Ibarrola, R., Miernik, A., Lesur, P., & Minaskan, N. (2021). Mixed reality applications in urology: Requirements and future potential. *Annals of Medicine and Surgery*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102394>



Rochlen, L. R., Levine, R., & Tait, A. R. (2017). First-Person Point-of-View-Augmented Reality for Central Line Insertion Training: A Usability and Feasibility Study. *Simulation in Healthcare: Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 12(1), 57-62.
<https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000185>

Safar, A. H., Al-Jafar, A. A., & Al-Yousefi, Z. H. (2016). The Effectiveness of Using Augmented Reality Apps in Teaching the English Alphabet to Kindergarten Children: A Case Study in the State of Kuwait. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 417-440.
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00624a>

Said, C. S., Shamsudin, K., Mailok, R., Johan, R., & Hanaif, H. F. (2015). The Development and Evaluation of a 3D Visualization Tool in Anatomy Education. *EDUCATUM Journal of Science, Mathematics and Technology*, 2(2), Article 2.

Sampieri, R., Collado, C., & Batista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta). MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Schiffeler, N., Stehling, V., Hees, F., & Isenhardt, I. (2019, junio 15). *Effects of Collaborative Augmented Reality on Communication and Interaction in*



Learning Contexts – Results of a Qualitative Pre-Study. 2019 ASEE Annual Conference & Exposition. <https://peer.asee.org/effects-of-collaborative-augmented-reality-on-communication-and-interaction-in-learning-contexts-results-of-a-qualitative-pre-study>

Scholz, J., & Smith, A. N. (2016). Augmented reality: Designing immersive experiences that maximize consumer engagement. *Business Horizons*, 59(2), 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.10.003>

Serrano Vergel, R., Morillo Tena, P., Casas Yrurzum, S., & Cruz-Neira, C. (2020). A Comparative Evaluation of a Virtual Reality Table and a HoloLens-Based Augmented Reality System for Anatomy Training. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 50(4), 337-348. <https://doi.org/10.1109/THMS.2020.2984746>

Shaaban, T. S., & Mohamed, A. M. (2023). Exploring the effectiveness of augmented reality technology on reading comprehension skills among early childhood pupils with learning disabilities. *Journal of Computers in Education*. <https://doi.org/10.1007/s40692-023-00269-9>

Siebert, J. N., Ehrler, F., Gervais, A., Haddad, K., Lacroix, L., Schrurs, P., Sahin, A., Lovis, C., & Manzano, S. (2017). Adherence to AHA Guidelines When



Adapted for Augmented Reality Glasses for Assisted Pediatric Cardiopulmonary Resuscitation: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 19(5), e183. <https://doi.org/10.2196/jmir.7379>

Stefan, P., Pfandler, M., Wucherer, P., Habert, S., Fürmetz, J., Weidert, S., Euler, E., Eck, U., Lazarovici, M., Weigl, M., & Navab, N. (2018). Teamtraining und Assessment im Mixed-reality-basierten simulierten OP. *Der Unfallchirurg*, 121(4), 271-277. <https://doi.org/10.1007/s00113-018-0467-x>

Sugand, K., Wescott, R. A., Carrington, R., Hart, A., & van Duren, B. H. (2019). Training and Transfer Effect of FluoroSim, an Augmented Reality Fluoroscopic Simulator for Dynamic Hip Screw Guidewire Insertion: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 101(17), e88. <https://doi.org/10.2106/JBJS.18.00928>

Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, 757-764. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>

Tang, K. S., Cheng, D. L., Mi, E., & Greenberg, P. B. (2020). Augmented reality in medical education: A systematic review. *Canadian Medical Education Journal*, 11(1), e81-e96. <https://doi.org/10.36834/cmej.61705>



- Tang, Y. M., Chau, K. Y., Kwok, A. P. K., Zhu, T., & Ma, X. (2022). A systematic review of immersive technology applications for medical practice and education—Trends, application areas, recipients, teaching contents, evaluation methods, and performance. *Educational Research Review*, 35, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100429>
- Tarnng, W., Ou, K.-L., Lu, Y.-C., Shih, Y.-S., & Liou, H.-H. (2018). A Sun Path Observation System Based on Augment Reality and Mobile Learning. *Mobile Information Systems*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5950732>
- Tashjian, V. C., Mosadeghi, S., Howard, A. R., Lopez, M., Dupuy, T., Reid, M., Martinez, B., Ahmed, S., Dailey, F., Robbins, K., Rosen, B., Fuller, G., Danovitch, I., IsHak, W., & Spiegel, B. (2017). Virtual Reality for Management of Pain in Hospitalized Patients: Results of a Controlled Trial. *JMIR Mental Health*, 4(1), e7387. <https://doi.org/10.2196/mental.7387>
- Taubert, M., & Evans, L. (2021). 'The Resus doll Is dead, what now?' end-of-life care teaching and simulation: A literature review. *Palliative Medicine*, 35(1S), Article 1S. <https://doi.org/10.1177/02692163211035909>
- Tcha-Tokey, K., Christmann, O., Loup-Escande, E., & Richir, S. (2016). Proposition and Validation of a Questionnaire to Measure the User Experience in



Immersive Virtual Environments. *International Journal of Virtual Reality*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2016.16.1.2880>

Tezer, M., Yıldız, E., Masalimova, A., Fatkhutdinova, A., Zheltukhina, M., & Khairullina, E. (2019). Trends of Augmented Reality Applications and Research throughout the World: Meta-Analysis of Theses, Articles and Papers between 2001-2019 Years. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 14(22), 154-174.

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., ... Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>

Turan, Z., Meral, E., & Sahin, I. F. (2018). The impact of mobile augmented reality in geography education: Achievements, cognitive loads and views of university students. *Journal of Geography in Higher Education*, 42(3), 427-441. <https://doi.org/10.1080/03098265.2018.1455174>



Vargas Ovalle, J. L., & Franco Sánchez, D. M. (2022). *Uso de la simulación clínica en cuidado intensivo como estrategia pedagógica para el desarrollo de habilidades integrales en estudiantes de enfermería y medicina.*
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.60138>

Velazco-Garcia, J. D., Navkar, N. V., Balakrishnan, S., Younes, G., Abi-Nahed, J., Al-Rumaihi, K., Darweesh, A., Elakkad, M. S. M., Al-Ansari, A., Christoforou, E. G., Karkoub, M., Leiss, E. L., Tsiamyrtzis, P., & Tsekos, N. V. (2021). Evaluation of how users interface with holographic augmented reality surgical scenes: Interactive planning MR-Guided prostate biopsies. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 17(5), e2290.
<https://doi.org/10.1002/rcs.2290>

Venkatesan, M., Mohan, H., Ryan, J. R., Schürch, C. M., Nolan, G. P., Frakes, D. H., & Coskun, A. F. (2021). Virtual and augmented reality for biomedical applications. *Cell Reports Medicine*, 2(7), 100348.
<https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2021.100348>

Vidal-Balea, A., Blanco-Novoa, Ó., Fraga-Lamas, P., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Developing the Next Generation of Augmented Reality Games for Pediatric Healthcare: An Open-Source Collaborative Framework Based on



ARCore for Implementing Teaching, Training and Monitoring Applications.

Sensors (Basel, Switzerland), 21(5), 1865.

<https://doi.org/10.3390/s21051865>

Voit, A., Mayer, S., Schwind, V., & Henze, N. (2019). Online, VR, AR, Lab, and In-Situ: Comparison of Research Methods to Evaluate Smart Artifacts. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-12. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300737>

Wang, C., Daniel, B. K., Asil, M., Khwaounjoo, P., & Cakmak, Y. O. (2020). A Randomised Control Trial and Comparative Analysis of Multi-Dimensional Learning Tools in Anatomy. *Scientific Reports*, 10(1), 6120. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62855-6>

Wang, J., Suenaga, H., Hoshi, K., Yang, L., Kobayashi, E., Sakuma, I., & Liao, H. (2014). Augmented Reality Navigation With Automatic Marker-Free Image Registration Using 3-D Image Overlay for Dental Surgery. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(4), 1295-1304. <https://doi.org/10.1109/TBME.2014.2301191>

Wang, S., Parsons, M., Stone-McLean, J., Rogers, P., Boyd, S., Hoover, K., Meruvia-Pastor, O., Gong, M., & Smith, A. (2017). Augmented Reality as a



Telemedicine Platform for Remote Procedural Training. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(10), 2294. <https://doi.org/10.3390/s17102294>

Wei, X., Weng, D., Liu, Y., & Wang, Y. (2015). Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. *Computers & Education*, 81, 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.10.017>

Wen, R., Chng, C.-B., & Chui, C.-K. (2017). Augmented Reality Guidance with Multimodality Imaging Data and Depth-Perceived Interaction for Robot-Assisted Surgery. *Robotics*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/robotics6020013>

Widmann, G. (2007). Image-guided surgery and medical robotics in the cranial area. *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, 3(1), e11. <https://doi.org/10.2349/bijj.3.1.e11>

Wolf, J., Wolfer, V., Halbe, M., Maisano, F., Lohmeyer, Q., & Meboldt, M. (2021). Comparing the effectiveness of augmented reality-based and conventional instructions during single ECMO cannulation training. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 16(7), 1171-1180. <https://doi.org/10.1007/s11548-021-02408-y>



- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- Xu, X., Mangina, E., & Campbell, A. G. (2021). HMD-Based Virtual and Augmented Reality in Medical Education: A Systematic Review. *Frontiers in Virtual Reality*, 2. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.692103>
- Yeh, H.-C., & Tseng, S.-S. (2020). *Enhancing multimodal literacy using augmented reality*. <http://hdl.handle.net/10125/44706>
- Yilmaz, R. M. (2018). Augmented Reality Trends in Education between 2016 and 2017 Years. En *State of the Art Virtual Reality and Augmented Reality Knowhow*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74943>
- Zhang, H. (2017). Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(4), 717-722. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005>
- Zhang, J., Yu, N., Wang, B., & Lv, X. (2022). Trends in the Use of Augmented Reality, Virtual Reality, and Mixed Reality in Surgical Research: A Global Bibliometric and Visualized Analysis. *Indian Journal of Surgery*, 84(1), 52-69. <https://doi.org/10.1007/s12262-021-03243-w>



Universidad
Europea VALENCIA

Zhu, E., Lilienthal, A., Shluzas, L. A., Masiello, I., & Zary, N. (2015). Design of Mobile Augmented Reality in Health Care Education: A Theory-Driven Framework. *JMIR Medical Education*, 1(2), e4443. <https://doi.org/10.2196/mededu.4443>



Anexos

Anexos 1: Formulario base de recolección de datos para la revisión narrativa de alcance

Formulario de extracción de datos

<i>Categoría</i>	<i>Tipo de datos</i>
1. Información bibliográfica	a) Autor b) Título c) Año de publicación d) Nombre de la revista e) DOI
2. Información relativa a los criterios de inclusión	a) Tipo de estudio b) Diseño del estudio c) Objetivo de estudio
3. Información relativa al estudio	1. Información relacionada con la RA a) Modalidad de RA utilizada b) Usos de la realidad aumentada en torno a la enseñanza de medicina c) Impactos reportados del uso de RA en la enseñanza de la medicina d) Avances más recientes reportados e) Ventajas y desventajas reportados f) Perspectivas futuras visualizadas g) Dificultades técnicas 2. Información relacionada con los métodos de enseñanza h) Materia y materia específica impartida i) Si la formación formaba parte del plan de estudios j) Elementos educativos adicionales k) Modo de enseñanza l) Duración y frecuencia de la enseñanza m) Resultados medidos (de existir) n) Modalidad y tipo de evaluación (de existir)