

Más allá de lo real: la evolución del entrenamiento en cirugía con tecnologías inmersivas

Beyond the real: the evolution of surgery training with immersive technologies



Torres-Fuentes C.

Carlos TORRES-FUENTES*, Oscar PEÑA-PIÑEROS**, Daniel RUIZ-ABAUNZA***
Yulia GUIO-GÓMEZ****, Julián PADILLA-ROJAS*****, Diego SÁNCHEZ-MARTÍNEZ*****

Resumen

Abstract

Introducción y objetivo. En la actualidad, los avances tecnológicos como la realidad virtual aumentada y mixta, han transformado los métodos educativos tradicionales, especialmente en el entrenamiento quirúrgico. Estas herramientas fortalecen el desarrollo de habilidades, complementan la experiencia quirúrgica de especialistas y residentes, mejoran la comunicación de equipos de trabajo y aumentan la seguridad en los pacientes. Sin embargo, se necesita mayor promoción y adopción de estas tecnologías para su implementación en programas académicos universitarios. Por ello, el objetivo de este manuscrito es mostrar el progreso y el alcance de tecnologías de simulación en Cirugía Plástica por medio de una revisión de la literatura.

Material y método. Revisión de la literatura disponible en las bases de datos PubMed, Embase, ClinicalKey y Medline, utilizando los términos: cirugía plástica, realidad virtual, realidad aumentada, interfaz usuario-computador, tecnología háptica y simulación. Se incluyeron todos los estudios publicados en inglés y español en el periodo 2010 a 2023.

Resultados. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, seleccionamos 32 artículos que fueron analizados en profundidad permitiendo una visión integral de la evidencia disponible sobre el uso de tecnologías inmersivas en Cirugía Plástica.

Conclusiones. La realidad mixta es una herramienta valiosa para fortalecer el entrenamiento quirúrgico, permitiendo una práctica segura y objetiva. Su integración en los programas de cirugía representa una oportunidad para innovar en la enseñanza, aunque no reemplaza por completo la educación tradicional.

Background and objective. Nowadays, technological advances such as virtual, augmented and mixed reality have transformed traditional educational methods, especially in surgical training. These tools strengthen the development of skills, complement the surgical experience of specialists and residents, improve team communication, and increase patient safety. However, further promotion and adoption of these technologies is needed for their implementation in university academic programs. Therefore, the aim of this manuscript is to show the progress and scope of simulation technologies in Plastic Surgery through a literature review.

Methods. A review of the literature available in the databases PubMed, Embase, ClinicalKey and Medline was performed using the terms: plastic surgery, virtual reality, augmented reality, user-computer interface, haptic technology and simulation. All studies published in English and Spanish in the period from 2010 to 2023 were included.

Results. After applying the inclusion and exclusion criteria, 32 articles were selected. These studies were analyzed in depth allowing a comprehensive view of the available evidence on the use of immersive technologies in Plastic Surgery.

Conclusions. Mixed reality is a valuable tool to strengthen surgical training, allowing a safe and objective practice. Its integration into surgical programs represents an opportunity for innovation in teaching, although it does not completely replace traditional education.

Palabras clave Cirugía Plástica, Realidad virtual, Realidad aumentada, Interfaz usuario-computador, Tecnología háptica.

Nivel de evidencia científica 5a Terapéutico
Recibido (esta versión) 7 marzo / 2025
Aceptado 2 mayo / 2025

Key words Plastic Surgery, Virtual reality, Augmented reality, User-computer interface, Aptic technology.

Level of evidence 5a Therapeutic
Received (this version) March 7 / 2025
Accepted May 2 / 2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún interés financiero relacionado con el contenido de este artículo.
Financiación: No hubo fuentes externas de financiación para este trabajo.

* Especialista en Cirugía Plástica Reconstructiva y Estética, Microcirujano, Cirujano de la Mano.

** Médico, Residente Cirugía Plástica Reconstructiva y Estética, Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, Bogotá, Colombia.

*** Médico, Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, Bogotá, Colombia.

**** Médico, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.

***** Médico, Ilustrador, Fundación Universitaria Juan N. Corpas, Bogotá, Colombia.

***** Médico, Grupo de Investigación GIBACUS, Universidad del Sinú Seccional Cartagena, Colombia.

Introducción

Con el pasar del tiempo, el ámbito educativo en el campo de la Medicina está experimentando cambios significativos influenciados por una variedad de factores externos que emergen en la actualidad, como es el caso del uso de las tecnologías en la atención médica, con el fin de facilitar la adquisición de conocimientos fundamentales, mejorar la toma de decisiones, ampliar la percepción de las variaciones, fortalecer la coordinación de habilidades, preparar para situaciones especiales, entrenar a equipos de aprendizaje, perfeccionar las habilidades psicomotoras, y una amplia gama de enfoques pedagógicos que tiene como fin mejorar la atención del paciente.

La simulación ha sido descrita en múltiples ocasiones como una herramienta de entrenamiento que mejora la tasa de éxito y disminuye la presencia de errores en la realización de una actividad específica.^(1,2) El uso de la simulación en Medicina creó un nuevo camino en la formación académica, siendo un método de enseñanza que permite realizar entrenamiento dentro de un ambiente seguro, controlado, dirigido y con retroalimentación inmediata.⁽³⁾

Desde la implementación de la simulación en el entrenamiento quirúrgico se han utilizado modelos animales, cadavéricos, sintéticos, y en la actualidad virtuales,⁽⁴⁾ siempre con el propósito de encontrar un sistema capaz de imitar procedimientos quirúrgicos reales. La realidad mixta (RM) combina tanto el mundo real como el virtual para generar nuevos entornos e imágenes que interactúan entre sí en tiempo real, fusionando la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) en uno solo (Fig. 1).⁽⁵⁾

La RV ofrece una alternativa eficiente y costo-efectiva para entrenar cirujanos en la ejecución de procedimientos y abordajes quirúrgicos complejos. Dichas alternativas permiten repetir las cirugías hasta que se adquiera la experiencia necesaria previa a la aplicación clínica. Adicionalmente permite practicar cirugías que no sean rutinarias ni accesibles para los residentes y evaluar objetivamente múltiples métricas, a diferencia

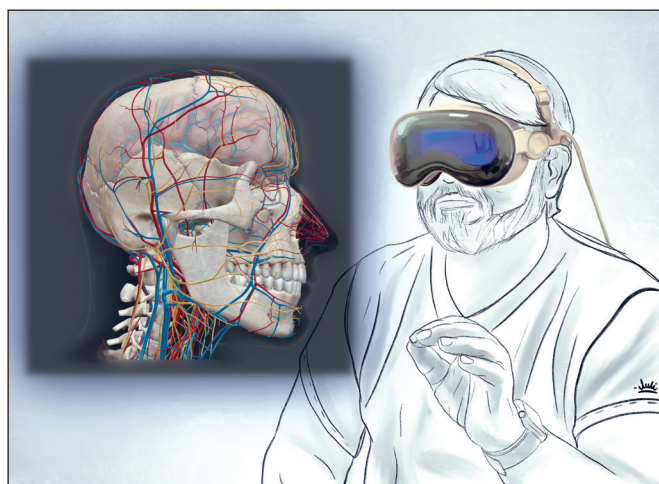


Figura 2. RV y métodos de aprendizaje con tecnologías en la práctica de la anatomía humana.

del ambiente quirúrgico en vivo, disminuyendo potencialmente los riesgos perioperatorios.⁽⁶⁻⁸⁾ Los modelos híbridos permiten una mejor comprensión de la anatomía, combinando el tacto y la visión, lo que lleva a ampliar la conceptualización espacial del estudiante (Fig. 2).⁽⁹⁾

En la última década, el entrenamiento quirúrgico simulado ha tenido mayor adopción, con un gran éxito e impacto positivos tanto en el entrenamiento quirúrgico de residentes como de cirujanos en múltiples técnicas quirúrgicas asistidas por imagen,⁽¹⁰⁾ convirtiéndolo en un instrumento innovador y valioso para recrear entornos quirúrgicos adaptables a las necesidades de cada programa de formación en especialidades médico-quirúrgicas.⁽¹⁰⁾

Este artículo tiene como objetivo revisar la literatura actual que incluya la RV, RA y RM como modelos de entrenamiento quirúrgico en el campo de la Cirugía Plástica, así como de las subespecialidades reconstructivas y estéticas.

Material y método

Realizamos búsqueda bibliográfica de artículos a partir del análisis de la literatura científica disponible hasta la actualidad, sin limitaciones en cuanto al idio-

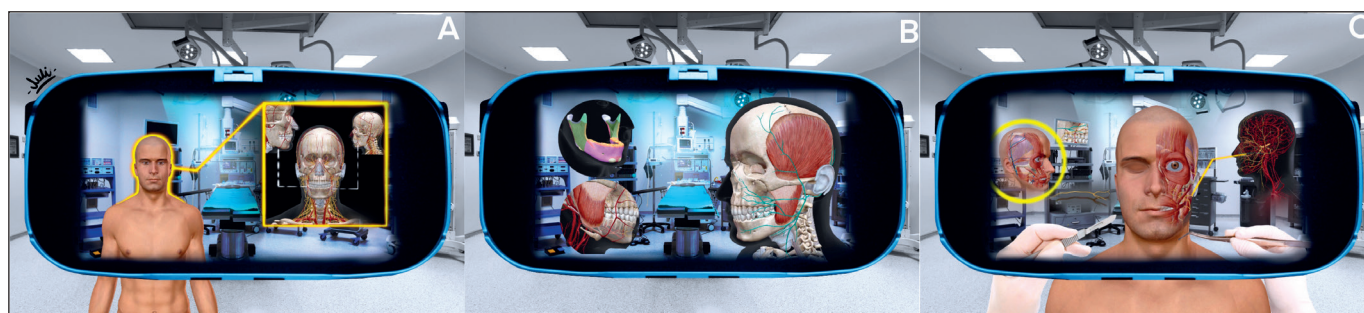


Figura 1. A. La realidad aumentada (RA) es la herramienta que permite agregar información obtenida de un entorno real al campo visual del usuario en diferentes formatos (visual, audiovisual, háptico). B. La realidad virtual (RV) genera una imagen o un entorno completamente artificial creado en computador. C. La realidad mixta (RM) combina la RV y la RA en una sola interfaz, sumando la posibilidad de interacción del usuario con los gráficos en su campo visual.

Resultados

ma, aplicando filtros de búsqueda por resumen-abstract y tipo de publicación, correspondientes a los últimos 10 años, en el periodo de búsqueda comprendido entre 2010 y 2023. Las bases de datos utilizadas fueron PubMed y Science Direct, UpToDate, Scopus, Springer Link, en el motor de búsqueda Google Scholar, Cochrane (revisiones sistemáticas y ensayos). Los operadores booleanos utilizados fueron AND, OR y NOT. Empleamos los términos de búsqueda en inglés: ((“surgery, plastic”[MeSH Terms] OR (“surgery”[All Fields] AND “plastic”[All Fields]) OR “plastic surgery”[All Fields] OR (“plastic”[All Fields] AND “surgery”[All Fields])) AND (“virtual reality”[MeSH Terms] OR (“virtual”[All Fields] AND “reality”[All Fields]) OR “virtual reality”[All Fields])) OR (“haptic technology”[MeSH Terms] OR (“haptic”[All Fields] AND “technology”[All Fields]) OR “haptic technology”[All Fields])). Seleccionamos los artículos que incluyeran información relacionada con entrenamiento quirúrgico empleando RV, RA o RM en Cirugía Plástica, cirugía de la mano, maxilofacial, estética y microcirugía. La recolección de la información se realizó del 10 de diciembre de 2023 hasta el 10 de febrero del 2024, incluyendo artículos publicados desde el año 2010. Las palabras clave fueron: cirugía plástica, realidad virtual, realidad aumentada, interfaz usuario-computador, tecnología háptica.

La presente investigación salvaguarda la propiedad intelectual de los autores y cita adecuadamente los conocimientos y teorías mencionados.

La búsqueda inicial identificó 43 artículos relacionados con el uso de RV, RA y RM en Cirugía Plástica publicados entre 2010 y 2023. Tras la revisión de los resúmenes, excluimos 14 por no cumplir con los criterios de publicaciones con relación a entrenamiento en Cirugía Plástica con sistemas de RV, RA y RM. Posteriormente, tras la lectura completa de los textos, descartamos 2 artículos más debido a que el texto no coincidía con la información del resumen. Adicionalmente, incorporamos 5 estudios identificados en las referencias que cumplieran con los criterios establecidos.

En total, fueron incluidos 32 artículos en esta revisión abarcando el análisis de métodos de entrenamiento quirúrgico, el uso de tecnologías inmersivas y las estrategias de aplicación de estas herramientas en Cirugía Plástica Reconstructiva y Estética (Tabla I).

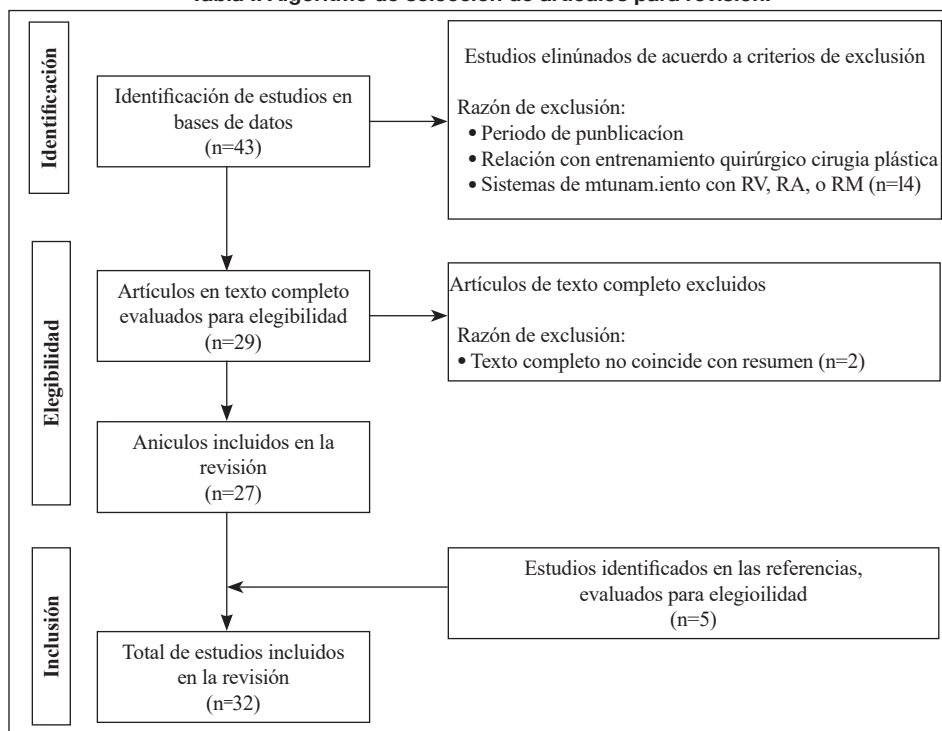
Discusión

La Cirugía Plástica Reconstructiva y Estética es una de las especialidades con mayor campo de acción dentro de las disciplinas quirúrgicas, esto implica el desarrollo de conocimientos y habilidades quirúrgicas de gran precisión durante la formación académica de los futuros especialistas, así como de la actualización de dichas competencias durante su vida laboral. El entrenamiento quirúrgico constante durante la formación del cirujano plástico es fundamental para su habituación a

las distintas técnicas quirúrgicas en relación con los conocimientos clínicos de la especialidad. Aunque muchos de los programas de cirugía son congruentes con la teoría de aprendizaje de Kolb,⁽¹¹⁾ la curva de aprendizaje varía entre cada cirujano plástico dependiendo del volumen y la heterogeneidad de los casos que maneje en los distintos escenarios de salud donde realice su práctica clínico-quirúrgica.^(12,13)

El crecimiento de las tecnologías fuera del mundo de los videojuegos ha encontrado un gran campo de acción dentro de la práctica quirúrgica en los programas universitarios de Cirugía Plástica, así como en otras áreas de la medicina.

Tabla I. Algoritmo de selección de artículos para revisión.



La RM ofrece la capacidad de visualizar espacialmente la anatomía del paciente por medio de un software que toma imágenes de tomografía computarizada, resonancia magnética o bien del escaneo de la superficie corporal, y genera modelos 3D que son transferidos a una pantalla montada sobre un dispositivo en la cabeza del cirujano.⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ La teletutoría con RA facilita la interacción entre cirujanos y aprendices, sustentando el beneficio de la utilización de la RA como método de aprendizaje práctico mediante la visualización de un procedimiento en primera persona transmitido a la audiencia a través de una aplicación multimedia.⁽¹⁷⁾ Por otro lado, la videograbación quirúrgica puede presentarse con RA en la que los usuarios tengan la posibilidad de acceder a cirugías con el relato directo del cirujano que realiza el procedimiento.⁽¹⁸⁾ Incluso en modalidad fuera de línea (*offline*) da la posibilidad de que los residentes puedan acceder a estos videos en varias ocasiones, estudiando cada una de las sesiones de cirugía las veces que deseen, beneficiando así la adquisición de conocimientos en aquellos procedimientos que son técnicamente difíciles y que por su alto riesgo se emplean pocas veces en la práctica.^(19,20)

En el área de la atención al paciente quemado, en donde la disponibilidad de simuladores con dispositivos sintéticos o animales es casi inexistente, la RV propicia igualmente una nueva modalidad de entrenamiento.⁽²¹⁾

El metaverso es una tecnología inmersiva basada ampliamente en RV que parece ser aún muy futurista para las ciencias de la salud; sin embargo, su aplicación en Cirugía Plástica traería un sin fin de posibilidades a los programas de formación académica y a la actividad laboral del cirujano. Sun y col. identifican 5 potenciales vías de crecimiento de los servicios de Cirugía Plástica con el uso del metaverso, las cuales describimos en la Tabla II.⁽²²⁾

La RV, RA, y la RM no solo ofrecen la posibilidad de mejorar la formación académica quirúrgica en ambientes modificados con objetivos específicos, sino que también proveen una herramienta para la realización de cirugía a distancia, conocida como telecirugía. Esta funciona mediante el uso de dispositivos como el Hololens® desarrollado por Microsoft, que ha demostrado su formidable desempeño en el campo de la cirugía.^(5,23-25)

Las tecnologías inmersivas representan el siguiente paso en la evolución del entrenamiento quirúrgico y han desbloqueado nuevas posibilidades en el campo de la Cirugía Plástica. Dicho enfoque de entrenamiento ofrece una experiencia práctica y única que permite a los profesionales en formación mejorar su destreza, afinar sus técnicas y desarrollar una comprensión más profunda de la anatomía. Además, esta nueva tecnología proporciona un espacio seguro para cometer errores y aprender de ellos antes de entrar al quirófano real, mejorando la curva de aprendizaje y la confianza de los estudiantes. Dichas herramientas no solo han llegado para quedarse en el ámbito del entretenimiento; están desempeñando un papel crucial en la planificación y visualización de los procedimientos de la Cirugía Plástica.

Partiendo de esta revisión de la literatura, detallamos el impacto de la tecnología inmersiva en el entrenamiento médico en esta especialidad, destacando su potencial aplicación en áreas concretas de la misma como son la cirugía de la mano, craneo-máxilofacial, microcirugía y medicina estética.

Cirugía de la mano

La RV y la RA se han utilizado para la planificación preoperatoria, la observación de la anatomía en la educación quirúrgica y la visualización de la anatomía del paciente durante la cirugía.⁽²⁶⁾ La información disponible en cirugía de la mano con esta tecnología es escasa, pero se propone su uso con el mismo modelo que en otras subespecialidades. En cirugía de la mano, puede ser particularmente útil en el entrenamiento microquirúrgico y se han desarrollado simuladores para practicar la liberación endoscópica del túnel del carpo.⁽²⁶⁾ También se propone el uso de la RV para el aprendizaje de la anatomía de la mano que supone un gran desafío en los estudiantes, incluso se propone perfeccionar las imágenes intraoperatorias actuales con la RA.

Una de las innovaciones más importantes reportadas en la literatura es Proximie® (AdventLifeSciences. Londres, Reino Unido), una plataforma de RA usada para teletutoría que permite la colaboración en tiempo real entre un cirujano local y un cirujano remoto.⁽²⁷⁾ Greenfield y col. reportan su utilidad en un paciente con lesión severa de la mano izquierda producto de la manipulación de artefactos explosivos en Palestina, que por situación de

Tabla II. Formas de uso del metaverso en programas de formación de Cirugía Plástica (Sun y col.⁽²²⁾)

I	Construcción de quirófanos y uso de personas virtuales para la práctica
II	Asistencia a conferencias académicas, sin limitación de tiempo o espacio
III	Posibilidad de crear una clínica de Cirugía Plástica para prestar servicios dentro del universo virtual
IV	Participación en otras profesiones con el fin de ganar nuevas habilidades fuera del campo quirúrgico
V	Utilizar el metaverso como entretenimiento para aliviar el estrés laboral (<i>burnout</i>)



conflicto armado y limitación de los recursos en salud no tenía acceso a cirugía especializada. En este caso se usó esta plataforma para realizar una cirugía guiada en vivo desde Inglaterra por un cirujano con mayor experiencia que el local. Se logró corregir con éxito una extensa contractura palmar que limitaba las actividades diarias del paciente a través de un sistema de cámaras fijas conectadas a un computador compatible con la plataforma.

Cráneo-maxilofacial

La cirugía cráneo-maxilofacial abarca múltiples patologías y defectos que requieren un entrenamiento arduo por parte del cirujano, dada la complejidad de las estructuras anatómicas localizadas en esta región.⁽²⁸⁾

La formación de los residentes quirúrgicos supone numerosos retos y debe incentivar a que los programas académicos involucren diferentes estrategias para su entrenamiento, como el empleo de la simulación mediante modelos cadavéricos que puede presentar algunas limitaciones. Es por ello que en los últimos años ha surgido la necesidad de desarrollar y explorar modelos de simulación digital que combinen RV y RA para mejorar el aprendizaje de los residentes, disminuir los errores y complicaciones y mejorar la curva de aprendizaje.⁽²⁹⁾

En la literatura encontrada, se describe el desarrollo y aplicación de modelos para este fin.

Es el caso de Fule Wu y col. quienes desarrollan un sistema de entrenamiento virtual para cirugía maxilofacial enfocado en la simulación de osteotomía de Le-Fort I. Emplean datos de tomografía computarizada y escaneado láser de los pacientes y reconstruyen los órganos e instrumentos quirúrgicos en 2D y 3D. Gracias a esta herramienta, pueden simular el corte y fresado del maxilar inferior.⁽⁶⁾ La evaluación de esta estrategia arrojó que la RV es útil para el aprendizaje de habilidades quirúrgicas, y además que al no emplear material quirúrgico real, permite reducir los costos en formación de los residentes y disminuir el riesgo de complicaciones en los pacientes. Esta estrategia continúa en desarrollo y busca combinar otros métodos para mejorar la precisión de los procedimientos.

Coelho y col. desarrollan una herramienta que combina la RV con un modelo físico facial creado con impresión en 3D dirigido al entrenamiento y planificación preoperatoria de la craneosinostosis metódica.⁽⁹⁾ Esta pauta permite una adecuada planificación y simulación del abordaje quirúrgico que se pudo reproducir con exactitud durante la cirugía real. La mayoría de los participantes estuvieron de acuerdo con el uso de estas herramientas y las encontraron muy beneficiosas en la planificación prequirúrgica y en los resultados postoperatorios. Por su parte, otro estudio realizado por Bartella y col.

destaca que sin embargo, se trata de una estrategia menos beneficiosa para cirujanos con mayor experiencia.⁽⁷⁾

Lozano y col.,⁽³⁰⁾ por medio de una revisión sistemática de la literatura, describen diferentes métodos y tecnologías para la realización de rinoplastias mencionando el reciente uso del software Mimics® (Materialise, Leuven, Bélgica) y Autodesk 3D Max® (Autodesk, San Rafael, California, EE.UU.), que utilizan datos tomográficos que luego son aislados para la creación de modelos con impresiones 3D. Una vez obtenidos los moldes se materializan con silicón para simular piel y cartílagos, y plástico ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) para representar las estructuras óseas. Esto hace posible reproducir en el modelo la práctica de incisiones, disección de estructuras, suturas, colocación de injertos y sutura final.

También está descrito el uso de computadoras que generan modelos anatómicos para familiarizarse con las dimensiones y ángulos anatómicos de las cruras nasales y otras estructuras. Luego se replican utilizando cartílagos de trompa de cerdo y estos cartílagos se unen con suturas simulando las cruras medias. Entre las ventajas de este modelo se encuentra su bajo costo y la posibilidad de practicar suturas interdomales; no obstante, aunque las dimensiones y el grosor son similares, la maleabilidad y la manipulación no lo son, lo que dificulta la modificación de estructuras además de que este modelo de práctica carece de cobertura cutánea, por lo que no permite observar el resultado final.

Microcirugía

Uno de los elementos que se ha usado durante años para realizar anastomosis finas de vasos y nervios es el microscopio electrónico. Aunque es útil, presenta algunas desventajas porque requiere posturas fijas durante tiempos largos y un asistente en posición opuesta al cirujano sin libre movilidad debido a las restricciones del microscopio. Además, las manos deben alejarse del sitio quirúrgico para manejarlo y en muchas ocasiones, es necesario ajustar manualmente el equipo según las necesidades visuales del cirujano.⁽³¹⁾

En respuesta a estas limitaciones se han creado sistemas más compactos que se adaptan físicamente a las necesidades del equipo quirúrgico; es aquí donde la introducción del exoscopio, un dispositivo robótico articulado que permite al cirujano visualizar el campo quirúrgico por medio de monitores, facilita al cirujano el uso de instrumentos largos y mejora su ergonomía, combinándose además con la RV y la RM.⁽¹⁰⁾

Un ejemplo de la combinación de esta tecnología es el RoboticScope® (BHS Technologies, Austria).⁽³²⁾ Se trata de un sistema de cámaras de alta definición conectadas a un casco de RA que proyecta una imagen am-

pliada frente a los ojos del cirujano y está conectado a un brazo robótico que traduce los movimientos de su cabeza.⁽³²⁾ Matsui y col.⁽³¹⁾ reportan la combinación del exoscopio Orbey Olympus® (Japón) con las gafas inteligentes (Moverio BT-35® Epson, Japón) que permiten la visualización en 3D tanto para el cirujano como para el asistente. En este caso, el cirujano ve una imagen directa del exoscopio que es transmitida a las gafas del asistente por red wifi. Adicionalmente, el procedimiento se puede proyectar en una pantalla para el resto del equipo quirúrgico. Con este método, los autores refieren haber logrado realizar anastomosis microquirúrgicas sintéticas y biológicas exitosamente con mejor ergonomía y comodidad.

Otra alternativa usada en la educación y planificación prequirúrgica es la tomografía computarizada combinada con software de reconstrucción 3D para obtener datos geométricos específicos del paciente y producir impresiones 3D.⁽³³⁾ Estas impresiones se utilizan posteriormente para fabricar guías de corte para osteotomías, en especial en casos complejos de cirugía reconstructiva de cabeza y cuello, donde es frecuente el uso de colgajos osteocutáneos como el colgajo libre de peroné y de escápula para la reconstrucción de defectos mandibulares en casos de resecciones severas producto de enfermedades oncológicas. Luu y col. concluyen en su artículo empleando este tipo de tecnología con un grupo de residentes de Otorrinolaringología, que se pueden obtener resultados exitosos de reconstrucción mandibular con software de reconstrucción 3D e impresión de guías de corte para osteotomías.⁽³³⁾

Falola y col.⁽³⁴⁾ reconocen que los dispositivos de RA presentan un periodo de latencia corto (< 200ms) entre la captura de la imagen y la proyección en el campo visual del profesional, lo cual podría poner en riesgo la precisión requerida en los procedimientos microquirúrgicos. Cabe resaltar que hoy en día, las constantes actualizaciones del software pueden resolver este problema.

Para los residentes en formación en microcirugía la práctica es esencial para lograr la experiencia en las técnicas requeridas para la ejecución exitosa de los procedimientos reconstructivos. Theman y col. realizaron un estudio para evaluar la utilidad de la simulación en microcirugía encuestando a miembros de la Sociedad Estadounidense de Microcirugía Reconstructiva. Los resultados arrojaron que los métodos más ampliamente usados para mejorar las habilidades microquirúrgicas fueron la observación clínica (72%), los modelos en animales pequeños (67%), asistir a un curso de capacitación (33%), los modelos en cadáver (28%), y solo el 2% refirió haber usado un simulador de microcirugía de alta fidelidad. Para la enseñanza, el 87% de los encuestados dijo

usar casos clínicos, mientras que el 57% usa modelos en animales pequeños, el 18% la disección en cadáveres y sólo el 4% la simulación de alta fidelidad. En cuanto a la evaluación, la mayoría de los encuestados (94%) afirmó que no tenían una métrica formal para la calificación del rendimiento durante la residencia. Concluyen así que la simulación de alta fidelidad tiene un papel importante en la microcirugía; sin embargo, no todos los programas de formación académica disponen de estos recursos.⁽³⁵⁾

Cifuentes y col.⁽³⁶⁾ describen un estudio en el que dan a conocer el concepto de “gimnasio microquirúrgico”, un método de entrenamiento que, en ausencia de un instructor presencial, utiliza un microscopio triocular con magnificación de hasta 22.5X, instrumental microquirúrgico, una cámara Amscope® (Amscope, EE.UU.) conectada al microscopio, además de una cámara web para grabar el movimiento de las manos y una tableta con sistema operativo Windows. Estos entrenamientos se suben a una plataforma y luego son evaluados por el instructor respectivo en una plataforma que permite observar detalladamente cada sesión realizada, la curva de aprendizaje y la bitácora de entrenamiento de cada estudiante, para luego ser retroalimentados y poder así progresivamente incrementar su destreza quirúrgica de la persona en formación.

El estudio realizado por Elena⁽³⁷⁾ presenta el uso del teléfono celular inteligente (*smartphone*) con un soporte de brazo flexible como herramienta de sustitución y/o complemento del microscopio. Emplea un teléfono inteligente de buena resolución con una lente de aumento de hasta 10X. El uso del soporte permite lograr la misma posición del microscopio y su principal ventaja es su fácil portabilidad, ya que se puede usarse tanto en una sala de laboratorio como en el hogar, lo que permite practicar de forma más continua ensayos con objetos inanimados para el entrenamiento microquirúrgico. También tiene la ventaja de poder grabar, tomar fotos y videos del procedimiento realizado para luego poder evaluarlo y hacer autocritica. En este estudio los autores logran realizar la práctica de suturas en objetos inanimados como gasas y guantes de látex con suturas de nylon 8-0, 9-0 y 10-0, así como prácticas en piezas de pollo para anastomosis en arterias de 1.5 mm con nylon 8-0, con un adecuado nivel de precisión y nitidez, comprobando la efectividad del método.

Medicina Estética

El uso de rellenos inyectables se ha vuelto muy popular en los últimos años en la práctica del rejuvenecimiento facial no quirúrgico como parte de la Medicina Estética, ya que se trata de procedimientos mínimamente invasivos y rápidos que pueden generar resultados es-

téticos muy satisfactorios. Sin embargo, se han descrito casos de complicaciones graves, como ceguera irreversible por inyección intravascular del producto. Es por ello que es primordial un adecuado conocimiento y entrenamiento en anatomía para realizar una aplicación efectiva de estos materiales infiltrables y mejorar así la seguridad de estos procedimientos.⁽³⁸⁾ En la actualidad, el entrenamiento y estudio anatómico para la ejecución de estos procedimientos se realiza por lo general mediante disecciones en cadáver, lo que puede tener limitaciones ya que con en estos especímenes y con el tiempo, la localización de los tejidos puede variar y con ello los puntos precisos de inyección. Teniendo esto en consideración, los sistemas de RV podrían ser de gran utilidad en el entrenamiento de la aplicación de rellenos inyectables en Medicina Estética.

Oh y col.⁽³⁸⁾ presentan una propuesta en la que emplean un hardware de RV para el entrenamiento en aplicación de rellenos inyectables acompañado de una conferencia donde explican las técnicas más seguras para la ejecución de los procedimientos. El sistema de RV está compuesto por un computador principal, un sistema óptico de seguimiento del movimiento, modelos de cara humana con el producto inyectable en una jeringa, y un casco de RV. Emplearon este sistema con cirujanos plásticos, dermatólogos y médicos estéticos, resultando que 3 de cada 4 participantes consideraron que este entrenamiento mediante RV les fue útil para identificar la anatomía de las áreas de riesgo y les ayudó a una aplicación adecuada y segura de los rellenos inyectables. Los autores concluyen que, sin embargo, aún hacen falta más estudios que evalúen objetivamente los beneficios de aplicar este tipo de herramientas en la Cirugía Estética.

En resumen, y como resultado de nuestra investigación bibliográfica, consideremos que los nuevos métodos de aprendizaje con apoyo tecnológico, si bien tienen el potencial de reemplazar los métodos de enseñanza tradicionales como la observación clínica y la simulación en cadáveres, no deberían reemplazarlos en su totalidad, puesto que su uso está limitado a su accesibilidad y a sus altos gastos operacionales, lo que hace que a muchas instituciones se les dificulte el acceso. Concretamente en nuestro país, Colombia, consideramos que en la actualidad aún existen factores que limitan directamente su aplicación, principalmente la falta de personal capacitado para el uso de tecnología, falta de laboratorios de simulación equipados con estos dispositivos, desconocimiento de la gran variedad de aplicaciones médicas que posee la RV, limitación de las redes de telecomunicación en lugares remotos, y los altos costos que genera la importación de estos sistemas al país.

También creemos necesario mencionar que, a pesar de las múltiples ventajas que parece plantear la utilización académica de la RV, el uso de dispositivos con lentes puede causar lo que se ha descrito como enfermedad por simulación, una patología que incluye la presentación de síntomas como desorientación, náuseas, vértigo y cansancio ocular, dependiendo de factores individuales del usuario, del sistema de RV y del procedimiento que se está realizando.⁽³⁹⁾

Conclusiones

De nuestra revisión de la literatura deducimos que la realidad mixta (RM) es una tecnología que permite mejorar las habilidades motoras de los estudiantes de Medicina en entrenamiento quirúrgico o en la formación quirúrgica especializada, propicia la práctica de las cirugías menos frecuentes y facilita la evaluación objetiva de las competencias adquiridas durante la formación o durante la residencia en un escenario inofensivo y seguro. En el momento actual, es necesaria una mayor exposición a esta tecnología para lograr su implementación y estandarización en los programas de cirugía en el mundo. Consideramos también que, si bien la la RM representa una oportunidad única para mejorar el esquema de enseñanza tradicional y adoptar nuevas estrategias de aprendizaje, no supone hoy por hoy un reemplazo total de la educación clásica.

Dirección del autor

Dr. Carlos Torres Fuentes

Correo electrónico: drtorresplastic@yahoo.com

Bibliografía

1. **Gaba DM.** The future vision of simulation in health care. *Qual Saf Health Care* 2004;13(suppl. 1):i2-10.
2. **Aebbersold M.** The history of simulation and its impact on the future. *AACN Adv Crit Care*.2016;27(1):56-61.
3. **Bradley P.** The history of simulation in medical education and possible future directions. *Med Educ*. 2006;40(3):254-262.
4. **Thomson JE, Poudrier G, Stranix JT, Motosko CC, Hazen A.** Current status of simulation training in plastic surgery residency programs: A review. *Arch Plast Surg*.2018;45(05):395-402.
5. **Lee GK, Moshrefi S, Fuertes V, Veeravagu L, Nazerali R, Lin SJ.** What is your reality? Virtual, augmented, and mixed reality in plastic surgery training, education, and practice. *Plast Reconstr Surg*. 2021;147(2):505-511.
6. **Ayoub A, Pulijala Y.** The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):238.
7. **Bartella AK, Kamal M, Scholl I, Schiffer S, Steegmann J, Ketelsen D, et al.** Virtual reality in preoperative imaging in maxillofacial surgery: implementation of “the next level”? *Br J Oral Maxillofac Surg*.2019;57(7):644-648.

8. **Rosen JM, Long SA, McGrath DM, Greer SE.** Simulation in plastic surgery training and education: The path forward. *Plast Reconstr Surg.* 2009;123(2):729-738.
9. **Coelho G, Rabelo NN, Vieira E, Mendes K, Zagatto G, Santos de Oliveira R, et al.** Augmented reality and physical hybrid model simulation for preoperative planning of metopic craniosynostosis surgery. *Neurosurg Focus.* 2020;48(3):E19.
10. **Bielsa VF.** Virtual reality simulation in plastic surgery training. Literature review. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2021;74(9):2372-2378.
11. **Contessa J, Ciardiello KA, Perlman S.** Surgery resident learning styles and academic achievement. *Curr Surg.* 2005;62(3):344-347.
12. **Zheng J, Zhang B, Yin Y, Fang T, Wei N, Lineaweaver WC, et al.** Comparison of plastic surgery residency training in United States and China. *Ann Plast Surg.* 2015;75(6):672-678.
13. **Saldanha FYL, Levites HA, Staffa SJ, Roussin C, Allori AC, Rogers-Vizena CR.** Maximizing plastic surgery education impact: Lessons from resident learning styles and experiential learning theory. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2019;7(7):e2252.
14. **Patel A, Massand S, Ingraham J.** The state of remote learning in plastic surgery: A systematic review of modalities. *Surg Pract Sci.* 2022;10(100102):100102.
15. **Suárez-Mejías C, Gomez-Ciriza G, Valverde I, Parra CC, Gómez-Cía T.** New technologies applied to surgical processes: Virtual Reality and rapid prototyping. *Stud Health Technol Inform.* 2015;210:669-671.
16. **Izard SG, Juanes JA, García Peñalvo FJ, Estella JMG, Ledesma MJS, Ruisoto P.** Virtual reality as an educational and training tool for medicine. *J Med Syst.* 2018;42, 50.
17. **Cooper L, Din AH, Fitzgerald O'Connor E, Roblin P, Rose V, Mughal M.** Augmented reality and plastic surgery training: A qualitative study. *Cureus.* 2021;e19010.
18. **Khor WS, Baker B, Amin K, Chan A, Patel K, Wong J.** Augmented and virtual reality in surgery—the digital surgical environment: applications, limitations and legal pitfalls. *Ann Transl Med.* 2016;4(23):454-464.
19. **Shafarenko MS, Catapano J, Hofer SOP, Murphy BD.** The role of augmented reality in the next phase of surgical education. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2022;10(11):e4656.
20. **Mughal M, Din AH, O'Connor EF, Roblin P, Rose V.** Breaking down training barriers: A novel method of delivering plastic surgery training through augmented reality. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2021;74(5):1101-1060.
21. **Roohani I, Moshal T, O'Brien D, Jimenez C, Collier Z, Kondra K, et al.** 762 A systematic review of surgical simulation in burn surgery: Education, assessment, and management. *J Burn Care Res.* 2023;44(Supplement_2):S165-156.
22. **Sun P, Zhao S, Yang Y, Liu C, Pan B.** How do Plastic Surgeons use the Metaverse: A Systematic Review. *J Craniofac Surg.* 2023;34(2):548-550.
23. **Khoong YM, Luo S, Huang X, Li M, Gu S, Jiang T, et al.** The application of augmented reality in plastic surgery training and education: A narrative review. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2023;82:255-263.
24. **Mitsuno D, Ueda K, Hirota Y, Ogino M.** Effective application of mixed reality device HoloLens: Simple manual alignment of surgical field and holograms. *Plast Reconstr Surg.* 2019;143(2):647-651.
25. **Tepper OM, Rudy HL, Lefkowitz A, Weimer KA, Marks SM, Stern CS, et al.** Mixed reality with HoloLens: Where virtual reality meets augmented reality in the operating room. *Plast Reconstr Surg.* 2017;140(5):1066-1070.
26. **Long AS, Almeida MN, Chong L, Prsic A.** Live virtual surgery and virtual reality in surgery: Potential applications in hand surgery education. *J Hand Surg Am.* 2023;48(5):499-505.
27. **Greenfield MJ, Luck J, Billingsley ML, Heyes R, Smith OJ, Mosahebi A, et al.** Demonstration of the effectiveness of augmented reality telesurgery in complex hand reconstruction in Gaza. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2018;6(3):e1708.
28. **Wu F, Chen X, Lin Y, Wang C, Wang X, Shen G, et al.** A virtual training system for maxillofacial surgery using advanced haptic feedback and immersive workbench: VR-MFS using advanced haptic feedback and immersive workbench. *Int J Med Robot.* 2014;10(1):78-87.
29. **Maliha SG, Diaz-Siso JR, Plana NM, Torroni A, Flores RL.** Haptic, physical, and web-based simulators: Are they underused in maxillofacial surgery training? *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(11):2424.e1-2424.e11.
30. **Lozano Ruiz EA, Malagón Hidalgo HO, Pérez Dosal MR.** Revisión sistemática de modelos de entrenamiento en rinoplastia. *Cir. plást. iberolatinoam.* 2019;45(3): 285-294.
31. **Matsui C, Banda CH, Okada Y, Shiraishi M, Shimizu K, Mitsui K, et al.** Shaping the future of microsurgery: Combination of exoscope and smart glasses. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022;75(2):893-939.
32. **Aitzetmüller MM, Klietz M-L, Dermietzel AF, Hirsch T, Kückelhaus M.** Robotic-assisted microsurgery and its future in plastic surgery. *J Clin Med.* 2022;11(12):3378.
33. **Luu K, Pakdel A, Wang E, Prisman E.** In house virtual surgery and 3D complex head and neck reconstruction. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2018;47(1).
34. **Falola R, Lombana N, Rodriguez-Unda N, Mehta I, Webster N, Weber R, et al.** Augmented reality microsurgery (ARM)—proof of concept for a novel approach to microsurgical field visualization in plastic surgery. *Plast Reconstr Surg.* 2024;153(3):650-655.
35. **Theman T, Labow B.** Is there bias against simulation in microsurgery training? *J Reconstr Microsurg.* 2016;32(07):540-545.
36. **Cifuentes IJ, Dagnino BL, Pérez ME, Yañez RA, Varas J, Salisbury C.** Entrenamiento microquirúrgico a distancia. *Cir. plást. iberolatinoam.* 2018;44(4): 409-415.
37. **Elena Scarafoni E.** Uso del teléfono inteligente para facilitar el aprendizaje en Microcirugía. *Cir. plást. iberolatinoam.* 2019;45(4):405-412.
38. **Oh SM, Kim JY, Han S, Lee W, Kim I, Hong G, et al.** Development and usability of a virtual reality-based filler injection training system. *Aesthetic Plast Surg.* 2020;44(5):1833-1842.
39. **Rangelova S, Andre E.** A survey on simulation sickness in driving applications with virtual reality head-mounted displays. *Presence (Camb).* 2018;27(1):15-31.

Comentario al artículo “Más allá de lo real: la evolución del entrenamiento en cirugía con tecnologías inmersivas”

Fabián PÉREZ RIVERA

Cirujano Plástico, Práctica privada, Buenos Aires, Argentina. Director del Comité de Nuevas Tecnologías de la Federación Ibero Latinoamericana de Cirugía Plástica (FILACP) 2024-2026

“La Cirugía Plástica Reconstructiva y Estética es una de las especialidades con mayor campo de acción dentro de las disciplinas quirúrgicas; esto implica el desarrollo de conocimientos y habilidades quirúrgicas de gran precisión durante la formación académica de los futuros especialistas.” Comienzo mi comentario a este artículo tomando la frase usada por los autores en el inicio de la discusión. Nuestra especialidad es muy amplia y a veces se debe recurrir a múltiples rotaciones en los centros formadores para asegurarse de que los residentes puedan ver y operar la mayor cantidad y variedad posible de pacientes.

Se plantea una utopía: que los residentes de Cirugía Plástica de diferentes centros formadores de diferentes países operen la misma cantidad y variedad de procedimientos y logren abarcar la totalidad, o por lo menos la gran mayoría, de subespecialidades de nuestra especialidad. Realidad: ni los mismos residentes de un mismo centro formador y del mismo año de capacitación logran operar la misma cantidad y variedad de patologías. Hay autores que ya trabajan en la comparación del entrenamiento logrado por diferentes residencias quirúrgicas, incluso analizando modificaciones en la instrucción en período de pandemia.^(1,2) Pero...en esta revisión, los autores nos proponen una solución a esta posible utopía: el uso de herramientas tecnológicas como la Realidad Virtual, la Realidad Aumentada y la Realidad Mixta. El uso masivo de las mismas para aprender anatomía quirúrgica e implementar las primeras maniobras y técnicas quirúrgicas antes de llegar al quirófano con un paciente, parecería una posible solución.

Los autores han explorado 2 subespecialidades que presentan desafíos a la hora de realizar prácticas quirúrgicas, como son la cirugía de mano y la cirugía máxilo-facial, otorgándonos no solo citas bibliográficas para ampliar nuestro conocimiento, sino también datos de

aplicaciones, softwares y hardwares para poder implementar de forma inmediata estas recomendaciones (Proximie, Mimics, Autodesk 3D Max, Robotic Scope, Amscope).

Ante un incremento en la cantidad de complicaciones graves con el uso de rellenos sintéticos faciales,⁽³⁾ y ante un incremento en la cantidad de jóvenes cirujanos plásticos que ingresan al mundo de la Medicina Estética, también dan recomendaciones sobre cómo estas nuevas herramientas tecnológicas podrían ayudar en la formación en este campo, y evitar o disminuir el número de complicaciones graves.

Cabe destacar, y se recomienda su lectura e implementación, la especificación descrita en la Tabla I del algoritmo empleado para la selección de artículos de revisión sistemática. A su vez, también es grato aclarar que toda revisión sistemática debe usar por lo menos 3 bases de datos y los autores usaron 4: PubMed, Embase, ClinicalKey y Medline. Finalmente incluyo en acciones destacadas el haber hecho la búsqueda tanto en idioma inglés como español y la gran cantidad de artículos incluidos y revisados una vez aplicados los criterios de inclusión y exclusión.

Felicito a los autores y recomiendo la lectura de este artículo y ojalá tenga lugar la implementación de estas herramientas tecnológicas en los centros formadores de nuestros futuros colegas cirujanos plásticos.

Bibliografía

1. **Zheng J. et al.** Comparison of Plastic Surgery Residency Training in United States and China. *Ann Plast Surg* 2015;75: 672-678.
2. **Bernard A et al.** Impacto de la pandemia por COVID-19 en una Residencia Universitaria de Cirugía Plástica. *Rev Argentina Cir.* 2022; 114(3): 142-152
3. **Doyon VC. et al.** Update on Blindness From Filler: Review of Prognostic Factors, Management Approaches, and a Century of Published Cases. *Aesthet Surg J.* 2024;44(10):1091-1104.

Respuesta al comentario del Dr. Pérez Rivera

Carlos TORRES-FUENTES

Estimado Fabián.

Agradezco los comentarios y estamos completamente de acuerdo, las tecnologías aplicadas al aprendizaje y la formación son el presente y futuro de la educación médica, y la Cirugía Plástica, Reconstructiva y Estética, no puede ser la excepción.

En nuestro centro, hemos aplicado los aprendizajes por simulación con el diseño de modelos de entrenamiento en artroscopia de muñeca⁽¹⁾ y hemos trabajado intensamente en el campo quirúrgico con la cirugía asistida por computador y la realidad aumentada⁽²⁾ como herramienta terapéutica y aprovechando su potencial docente.

Esperamos que el objetivo de este artículo se cumpla a cabalidad, el cual es estimular a los colegas de los países iberoamericanos para que indaguen, investiguen e

implementen este tipo de tecnologías para la formación de sus estudiantes, así mismo, nada me haría más feliz que poder ayudar a liderar este proceso.

Finalmente agradezco enormemente la oportunidad de sembrar la curiosidad en un tema que marcará el futuro desarrollo de herramientas educativas en el campo de la medicina.

Bibliografía

1. **Torres Fuentes CE. et al.** Integral Dynamic Model for training in wrist arthroscopy, *J Wrist Surg*, 2024. DOI: 10.1055/s-0044-1793832.
2. **Torres Fuentes CE. Et al.** Nuevas tendencias en artrodesis total de muñeca: cirugía asistida por computador. *Rev Col Cir Plást y Reconstr*. 2024;30(2):40-48.