



Recibido: 18-03-2025
Aceptado: 20-05-2025

Realidad virtual y anestesia

Virtual reality and anesthesia

Dr. Raúl Guillén-Rojas,* Dra. Lourdes Carolina Pellecer-González,†,§

Dr. Miguel Fernando Nájera-Aranzábal,¶ Dra. Ana Lilia Garduño-López,||

Dra. Felipa Acosta-Garduño§

Citar como: Guillén-Rojas R, Pellecer-González LC, Nájera-Aranzábal MF, Garduño-López AL, Acosta-Garduño F. Realidad virtual y anestesia. Rev Mex Anestesiol. 2025; 48 (3): 188-192. <https://dx.doi.org/10.35366/120427>

Palabras clave:

realidad médica extendida, realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta, anestesiología.

Keywords:

medical extended reality, virtual reality, augmented reality, mixed reality, anesthesiology.

* Anestesiólogo cardiovascular. Cofundador y codirector médico de *Virtual Medical Learning* (VML). Titular del curso de Especialización en Anestesiología, Hospital Ángeles Coacpa. México.

† Cofundadora y codirectora médica VML. México.

‡ Anestesióloga cardiovascular pediátrica adscrita al Servicio de Anestesiología Cardiovascular, Fundación Kardias. México.

|| Cofundador VML. *Game-developer*. Director del Departamento de Desarrollo y Tecnología VML.

|| Anestesióloga adscrita al Departamento de Anestesiología y Coordinadora de Unidad de Dolor Postoperatorio.

RESUMEN. La realidad médica extendida (RMX), abarca la realidad virtual (RV), realidad aumentada (RA) y realidad mixta (RM), es una tecnología que está revolucionando la enseñanza de la anestesiología y de la medicina. En anestesiología, la RMX se aplica en la simulación de broncoscopías, intubación traqueal, anestesia regional y colocación de catéteres venosos centrales. Ofrece ventajas como un aprendizaje inmersivo y autodidacta, visualización tridimensional, una simulación de alta fidelidad, es accesible, portátil y más económica. Tiene desventajas como la dificultad en su desarrollo (haptica, complejidad anatómica) y, por parte, de los usuarios como resistencia al cambio, efectos adversos (mareo) y falta de evidencia. En México y Latinoamérica, el desarrollo es incipiente, con empresas como *Virtual Medical Learning* (VML) la RMX se considera una herramienta complementaria a los métodos de enseñanza existentes, con un futuro prometedor en diversas aplicaciones médicas. Aún se encuentra en sus inicios y requiere más investigación para comprender completamente sus alcances y limitaciones.

ABSTRACT. Extended medical reality (EMR), which encompasses virtual reality (VR), augmented reality (AR), and mixed reality (MR), is a technology that is revolutionizing the teaching of anesthesiology and medicine. In anesthesiology, EMR is applied in the simulation of bronchoscopies, tracheal intubation, regional anesthesia, and central venous catheter placement. It offers advantages such as immersive and self-taught learning, three-dimensional visualization, high-fidelity simulation, and is accessible, portable, and more economical. It has disadvantages such as difficulty in its development (haptics, anatomical complexity), and on the part of users, resistance to change, adverse effects (dizziness), and a lack of evidence. In Mexico and Latin-America, its development is nascent, with companies like VML; EMR is considered a complementary tool to existing teaching methods, with a promising future in various medical applications. It is still in its early stages and requires more research to fully understand its scope and limitations.

Abreviaturas:

3D = tridimensional

RA = realidad aumentada

RM = realidad mixta

RMX = realidad médica extendida

RV = realidad virtual

VML = *Virtual Medical Learning*

INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de la anestesiología ha experimentado una transformación en las últimas décadas, impulsada por los avances tecnológicos y una mejor comprensión de las teorías del aprendizaje⁽¹⁾; tradicionalmente, al igual que

muchas ramas de la medicina, su enseñanza se ha basado en el modelo de Halsted: «ver uno, hacer uno, enseñar uno»⁽²⁾. Esta evolución está integrando diversas herramientas como la simulación, recursos en línea, clases virtuales y por supuesto la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM)⁽³⁾.

Historia de la realidad virtual. Las industrias aeroespacial y de defensa fueron las primeras en incursionar en la RV en la década de los 50 con simuladores de vuelo a partir de cámaras múltiples y 180°. El primer dispositivo de RV descrito fue «Sensorama», un invento patentado por Morton Heilig⁽⁴⁾ (*Figura 1*). Sutherland desarrolló en 1968 *Sword of Damocles* (la espada



Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición «Salvador Zubirán».

Correspondencia:
Dr. Raúl Guillén-Rojas
 Prolongación 5 de Mayo,
 Núm. 40, Int. 7,
 Col. San Pedro
 Mártir, 14650,
 Alcaldía Tlalpan,
 Ciudad de México.
E-mail: raulgur10@
 hotmail.com

de Damocles), un desarrollo de unos lentes de RV conectados a un ordenador que generaban imágenes en el entorno real y se considera el primer sistema de RV y RA (*Figura 2*); estos términos, en ese entonces, eran sinónimos y fue hasta la década de los 90 cuando se empezaron a definir de manera independiente⁽⁵⁾.

DEFINICIONES

Realidad médica extendida (RMX). Se define como una intersección transformadora entre la atención médica y las tecnologías inmersivas, que integra, en un solo concepto, a la realidad virtual, la realidad aumentada, la realidad mixta y otras tecnologías que extienden o mejoran la experiencia médica⁽⁶⁾.

Realidad virtual (RV). Es una simulación generada por un software que nos sumerge en un entorno tridimensional (3D), permitiéndonos interactuar de forma muy similar a la vida real; a pesar de saber que todo fue generado por computadora y no es real, nuestro cerebro resulta engañado, cree todo lo que ve, escucha y toca, y quizás en un futuro lo que huele. Esto nos permite aprender de manera inmersiva a través de una experiencia muy cercana a como lo haríamos en la vida real⁽³⁾ (*Figura 3*).

También existe un tipo de RV creada con imágenes y/o videos esféricos o de 360°, que consiste en un reflejo de nuestra realidad, pero limita nuestra interacción a la observación.

Realidad aumentada (RA). Es una tecnología que superpone imágenes, información u otro contenido digital (principalmente tridimensional) generado por un software dentro de



Figura 1: Sensorama de Morton Heilig.



Figura 2: Gafas de realidad virtual de la espada de Damocles.

nuestro mundo real, mejorando su percepción y comprensión⁽⁷⁾.

Realidad mixta (RM). Combina elementos de la RV y la RA, se puede interactuar con elementos virtuales en el mundo real, permitiendo a los usuarios interactuar simultáneamente con elementos virtuales y físicos. La *American Medical Extended Reality Association* (AMXRA), en colaboración con el consejo editorial del *Journal of Medical Extended Reality*, desarrolló una taxonomía para definir el campo de la RMX⁽⁶⁾.

APLICACIONES Y DESARROLLO EN ANESTESIOLOGÍA

El desarrollo de las tecnologías de RMX dentro de la anestesiología ha experimentado una evolución importante, pasando de ser una idea futurista a una realidad que se está integrando a nuestras herramientas de aprendizaje⁽¹⁾. Inicialmente, la simulación en anestesiología se basaba en simuladores computarizados con interfaces poco realistas. Desde 1995, Burt⁽²⁾ ya tenía claro el potencial de esta herramienta; sin embargo, en esa época no se contaba con la tecnología para realizar entornos lo suficientemente cercanos a la realidad y los costos operativos eran inaccesibles, es decir la RV había llegado «muy temprano». A lo largo del tiempo, este desarrollo se ha manifestado en diversas áreas y procedimientos:

Broncoscopía: ha sido ampliamente estudiada y validada como un tema adecuado para la simulación con RV debido a su alta frecuencia de realización en múltiples especialidades médicas;

se han desarrollado simuladores como: el *AccuTouch Flexible Bronchoscopy Simulator*, el *AirSim Bronchi* (TruCorp), *Computer Airway Simulation System* (CASS) (un simulador que utiliza un iPad y hardware especializado a un costo relativamente bajo), entre otros⁽⁸⁾.

Intubación traqueal: aunque tradicionalmente se ha practicado con maniquís físicos, el avance en los modelos 3D y en las hapticas ha propiciado el desarrollo de diversos sistemas como: el *Virtual Airway Skill Trainer* (VAST) desarrollado en el *Rensselaer Polytechnic Institute*, el *AirwayVR* y algunos otros⁽⁹⁾.

Anestesia regional: se han desarrollado diversos *softwares* para el entrenamiento en RV⁽⁸⁾, los modelos 3D han demostrado mejorar el entendimiento a los alumnos sin conocimiento previo y los simuladores de RV han demostrado mejorar las habilidades cognitivo-motoras⁽⁸⁾. También se ha demostrado que el uso de esta herramienta ayuda a mejorar las habilidades en anestesiólogos con experiencia⁽¹⁰⁾ (*Figura 4*).

Colocación de catéter venoso central: es un procedimiento invasivo común para las áreas críticas, la RV se ha convertido en un método ampliamente adoptado para mejorar los resultados del entrenamiento de la cateterización venosa central⁽⁵⁾. Existen en el mercado simuladores de colocación de catéter venoso central como el desarrollado por Vantari o el de VML (*Virtual Medical Learning*) para Latinoamérica (*Figura 5*).

Ecocardiografía transtorácica y transesofágica: el entendimiento tridimensional es fundamental para comprender la ecografía; los modelos 3D, la RV y la RA se convertirán en herramientas indispensables en el aprendizaje de la ecografía, ya se han desarrollado simuladores de alta fidelidad utilizando escaneos de alta resolución⁽¹¹⁾ y escenarios inmersivos como el creado por VML para el aprendizaje de ecocardiografía transtorácica dentro del quirófano (*Figura 6*).

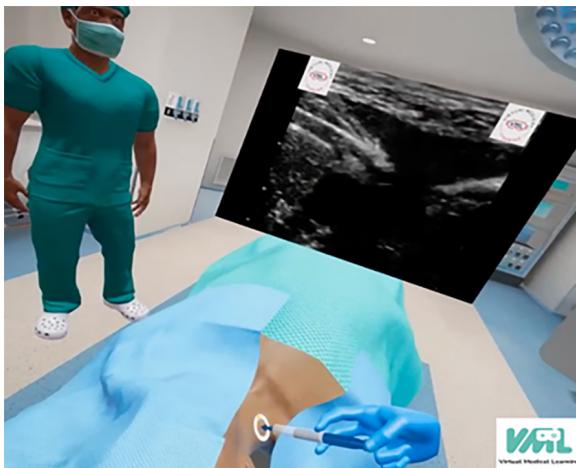


Figura 3: Quirófano en realidad virtual (desarrollado por VML).



Figura 4: Simulador de anestesia regional en realidad virtual (desarrollado por VML).

Otras aplicaciones: la realidad médica extendida tiene aplicaciones en todos los campos del aprendizaje y la simulación, con una gran oportunidad de desarrollo y crecimiento, simulaciones de manejo de crisis en anestesia, de arritmias perioperatorias, manejo de vía aérea avanzada, bloqueos epidurales o espinales, paro en sala de operaciones, entre muchos otros parecen tener un futuro promisorio.

VENTAJA

Aprendizaje: estas tecnologías de RMX nos permiten crear entornos de aprendizaje que se asemejan mucho a escenarios clínicos reales, permitiéndonos interactuar de manera más dinámica, divertida e inmersiva^(7,12), también facilitan el autoaprendizaje. Está bien demostrado que la asociación de las emociones mejora el aprendizaje; esta tecnología ha demostrado que ocasiona emociones mucho mayores que las del aprendizaje tradicional.

Visualización tridimensional: la creación e interacción con entornos tridimensionales promueven el interés y facilitan el aprendizaje, la comprensión y la retención del conocimiento⁽⁷⁾.

Simulación: se pueden crear escenarios de simulación de alta fidelidad⁽¹¹⁾, su límite de creación es la imaginación. Estos simuladores permiten el entrenamiento y práctica de procedimientos invasivos de manera segura.

Accesibilidad y portabilidad: estos dispositivos están al alcance de todos y se puede practicar fácilmente en cualquier lugar y a cualquier hora.

Costo: el desarrollo de estos *softwares* es infinitamente menor a la creación de un centro de simulación, no requiere de personal capacitado ni de horarios específicos. Además, la adquisición de lentes oscila entre 250-700 USD (5,000-

15,000 MXN), siendo accesible a muchas personas o a comprarlos de manera grupal.

Desarrollo y evaluación de competencias: el aprendizaje basado en competencias es el modelo educativo que ha demostrado mayor éxito. Este tipo de herramientas facilita la práctica y la evaluación en este modelo, ofreciendo retroalimentación inmediata y objetiva; lo que mejora y acorta las curvas de aprendizaje.

Futuro: el desarrollo de estas aplicaciones no se limita al aprendizaje de la anestesiología, el futuro, es promisorio. Multiconectividad (*multiplayer*), profesores y alumnos podremos conectarnos e interactuar dentro de un escenario virtual (*multiverso*) recibiendo asesoría y *feedback* en tiempo real, rompiendo las barreras de la distancia. En la planificación quirúrgica, podremos observar las tomografías, resonancias y demás estudios a través de la RA de manera tridimensional en lugar de verlos en dos dimensiones en una pantalla. Interactividad con equipo médico: podemos conectarnos al ultrasonido y tener la pantalla enfrente de nosotros, interactuar con elementos reales y virtuales. En el manejo del dolor y terapias de rehabilitación, quizá ésta es el área donde más se ha demostrado su utilidad. Interacción con pacientes, desde explicarle un procedimiento a través de un escenario inmersivo o un video en lugar de dejarlo a su imaginación, hasta trasladar un paciente pediátrico a quirófano con un video inmersivo que disminuya su estrés y ansiedad. El alcance de esta tecnología escapa a lo expresado en este artículo.

DESVENTAJAS

Desarrollo: estamos ante el inicio del desarrollo de esta tecnología, aún tenemos muchas limitaciones dentro de su creación, las hápticas (sensaciones de tacto, vibración) están



Figura 5: Simulador de colocación de accesos vasculares en realidad virtual (desarrollado por VML).

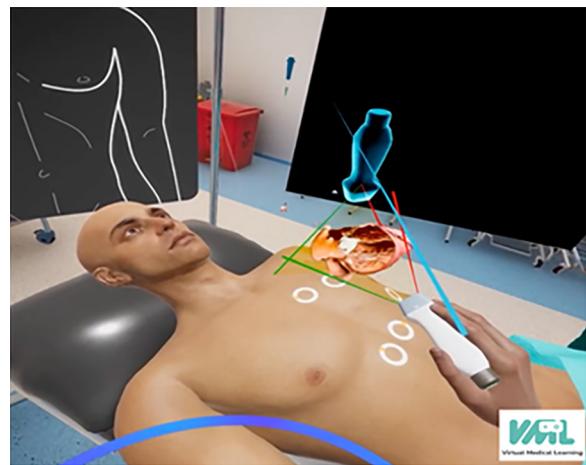


Figura 6: Simulador de ecografía transtorácica en realidad virtual (desarrollado por VML).

muy lejos de la realidad, lo cual afecta el desarrollo de habilidades psicomotoras finas. El desarrollo de las estructuras anatómicas complejas, a pesar de que existen librerías, escáneres y programas, enfrenta una gran dificultad para la creación de las imágenes tridimensionales optimizadas para incluirlos dentro de los desarrollos, ya que el poligonalaje (cantidad de vértices en la estructura 3D) en los desarrollos existentes o escaneados no está optimizado (ocupan mucho almacenaje). Respecto a los costos de desarrollo, existen pocas empresas capaces de desarrollar este tipo de *softwares* por su especialización, haciéndolo muy costoso y laborioso en estas fases de su desarrollo.

Usuarios: la renuencia al cambio siempre ha representado el mayor desafío en la inclusión de nuevas técnicas dentro y fuera de la medicina; a pesar de ser dispositivos fáciles de usar, se requiere una curva de aprendizaje⁽¹³⁾; como todo, el aprendizaje es personalizado y habrá alumnos que no se adapten a esta tecnología, debemos tener claro que esta tecnología no sustituye los métodos de aprendizaje, los complementa.

Efectos adversos: el mareo y las náuseas son un efecto adverso muy común, sobre todo al principio, la mayoría de las ocasiones es pasajero y al inicio; sin embargo, hay personas que nunca se adaptan.

Falta de evidencia: a pesar de que es sencillo validar un simulador virtual, esto no garantiza su eficacia en el entrenamiento; hacen falta estudios que demuestren su utilidad y en qué escenarios es útil y en cuáles no⁽¹³⁾. Tampoco se han estudiado las métricas para evaluar a los usuarios en estos escenarios.

Costo y accesibilidad: la inversión inicial en esta tecnología es importante, pero una vez realizada, los costos de mantenimiento son muy bajos; sin embargo, convencer a las instituciones de invertir en innovación es complicado.

PERSPECTIVAS ÉTICAS

La integración de estas tecnologías en la educación médica, la simulación de procedimientos y la atención a los pacientes plantea una discusión fundamental, obtener consentimiento informado para la protección de datos, el uso de información de pacientes, la divulgación del mismo, su utilización como herramienta de *marketing* para empresas que desarrollan equipo médico, garantizar la equidad del acceso y el riesgo de que realizar bien un procedimiento en estos escenarios no garantiza el éxito ante un paciente real y no sabemos aún si el demostrar competencias en estos simuladores puede garantizar la proficiencia. Así mismo los posibles efectos adversos que puede ocasionar deben estar claro para los usuarios.

DESARROLLO EN MÉXICO Y LATINOAMÉRICA

La RV y RA en México y Latinoamérica está siendo desarrollada por pocas empresas, las cuales se han involucrado de manera muy superficial con la enseñanza en medicina y nada en anestesiología. VML es una empresa mexicana que creamos hace más de un año (los autores GPL, GRR y NAM) y nos hemos especializado en desarrollos de medicina principalmente de anestesiología. El potencial de desarrollo de esta tecnología es altísimo, pero estamos viendo los comienzos, no dudamos que con el tiempo habrá más empresas y personas interesadas en colaborar.

CONCLUSIONES

La realidad médica extendida es un término que abarca la realidad virtual, aumentada y mixta, es una tecnología promisoria para la enseñanza de la medicina y la anestesiología, la accesibilidad, portabilidad y bajos costos son sus principales ventajas. La RMX es una herramienta de enseñanza que no debe sustituir a las que tenemos, sino más bien las comple-

menta, debemos tener claro que no es para todos ni para todo. Es una tecnología emergente que se encuentra en sus inicios y falta tiempo para que conozcamos, estudiemos y demostremos sus alcances y limitaciones.

REFERENCIAS

1. Huang VW, Jones CB, Gomez ED. State of the art of virtual reality simulation in anaesthesia. Int Anesthesiol Clin. 2020;58:31-35.
2. Burt DE. Virtual reality in anaesthesia. Br J Anaesth. 1995;75:472-480.
3. Alam F, Matava C. A new virtual world? The future of immersive environments in anaesthesiology. Anesth Analg. 2022;135:230-238.
4. Iqbal AI, Aamir A, Hammad A, Hafsa H, Basit A, Oduoye MO, et al. Immersive technologies in healthcare: an in-depth exploration of virtual reality and augmented reality in enhancing patient care, medical education, and training paradigms. J Prim Care Community Health. 2024;15:21501319241293311.
5. Savir S, Khan AA, Yunus RA, Rehman TA, Saeed S, Sohail M, et al. Virtual reality: the future of invasive procedure training? J Cardiothorac Vasc Anesth. 2023;37:2090-2097.
6. Spiegel BMR, Rizzo A, Persky S, Liran O, Wiederhold B, Woods S, et al. What is medical extended reality? A taxonomy defining the current breadth and depth of an evolving field. J Med Ext Real. 2024;1:4-12.
7. Kugelmann D, Stratmann L, Nühlen N, Bork F, Hoffmann S, Samarbarksh G, et al. An Augmented Reality magic mirror as additive teaching device for gross anatomy. Ann Anat. 2018;215:71-77.
8. Chuan A, Qian J, Bogdanovych A, Kumar A, McKendrick M, McLeod G. Design and validation of a virtual reality trainer for ultrasound-guided regional anaesthesia. Anaesthesia. 2023;78:739-746.
9. Xiao X, Zhao S, Meng Y, Soghi L, Zhang X, Hahn J. A physics-based virtual reality simulation framework for neonatal endotracheal intubation. Proc IEEE Conf Virtual Real 3D User Interfaces. 2020;2020:557-565.
10. Ramlogan RR, Chuan A, Mariano ER. Contemporary training methods in regional anaesthesia: fundamentals and innovations. Anaesthesia. 2021;76 Suppl 1:53-64.
11. Arango S, Gorbaty B, Tomhave N, Shervheim D, Buyck D, Porter ST, et al. A high-resolution virtual reality-based simulator to enhance perioperative echocardiography training. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2023;37:299-305.
12. Pottle J. Virtual reality and the transformation of medical education. Future Healthc J. 2019;6:181-185.
13. Rodriguez-Florido MA, Maynar M. Practical tips for teaching medicine in the metaverse. MedEdPublish (2016). 2024;14:54.