

Capítulo

Empleo de realidad virtual aumentada (simuladores y escenarios de realidad virtual) para la formación, capacitación y entrenamiento del personal médico y/o paramédicos en escenarios de trauma

Mayor Oscar Eduardo Sosa Mendoza

Médico y Cirujano – Especialista en Medicina Interna y Cardiología
Alumno CIM – 2025 – Escuela superior de Guerra

Resumen: La realidad virtual y la realidad aumentada son cada vez más parte de nuestra vida diaria. En las Fuerzas Militares, la necesidad constante es formar, entrenar y reentrenar a socorristas de combate altamente competentes en la atención del trauma de guerra. En un contexto donde el conflicto armado interno en muchas regiones del país exige el despliegue de operaciones defensivas y ofensivas, y donde el acceso a hospitales de alta complejidad es muy limitado, resulta fundamental integrar nuevas tecnologías en la formación de estos socorristas. Esta integración debe permitir que los profesionales brinden una atención de alta calidad y que sean entrenados en técnicas y competencias para la estabilización del trauma de guerra, utilizando tecnologías que mejoren sus habilidades sin la necesidad de pacientes reales, como la realidad virtual y la realidad aumentada.

Palabras clave: Simulación, Trauma de guerra, Realidad Virtual, Realidad aumentada, Socorristas de combate.

Mayor Oscar Eduardo Sosa Mendoza

Médico y Cirujano, Especialista en Medicina Interna, Especialista en Cardiología, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Estudiante Especialización en Defensa y Seguridad Nacional, Escuela Superior de Guerra, Colombia. Link ORCID. - Contacto: oscar.sosa@esdeg.edu.co

Introducción

Las nuevas tecnologías están cambiando el entrenamiento y la práctica de la medicina y la formación de enfermeros de combate. La inteligencia artificial, y la incorporación de ambientes en simulación para el entrenamiento del personal médico y paramédico vienen experimentando avances significativos en búsqueda de mejorar las capacidades y competencias que impacten la atención inicial, también definida como “primer contacto medico” en la atención del herido en combate y su manejo posterior.

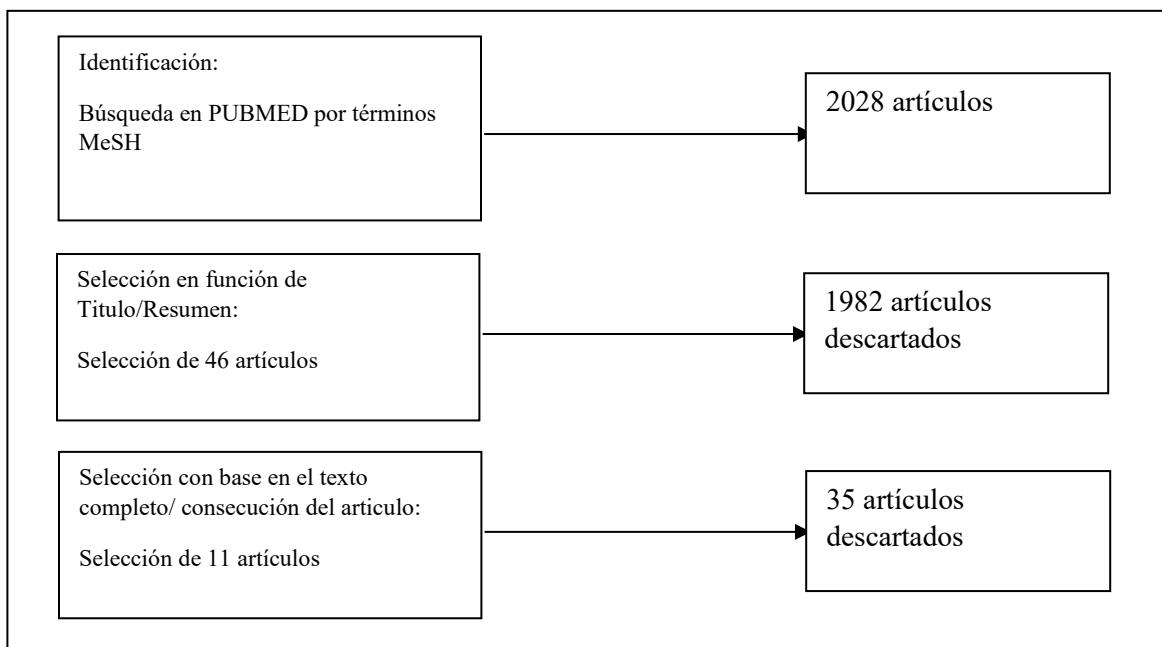
Colombia está en un conflicto armado no internacional de muy larga data, en donde las Fuerzas Militares desarrollan constantemente operaciones militares. Las áreas de operaciones generalmente son lugares de difícil acceso. Cuando se presentan heridos, la evaluación inicial, valoración de daños, y posteriormente la estabilización de las variables vitales está a cargo de socorristas de combate. Es por lo tanto necesario que la formación, entrenamiento y reentrenamiento cumpla con estándares de alta calidad hasta que se logre una evacuación y luego una remisión oportuna a un centro de alta complejidad. El aprendizaje de las competencias necesarias para estos eventos puede ser difícil o incompleto sin una práctica con pacientes reales, por lo que el uso de tecnologías en simulación puede ayudar al socorrista a mejorar el proceso de evaluación, estabilización y mantenimiento del estado de salud y la toma de decisiones en cada caso. Aunque la simulación no es nueva en el entrenamiento de médicos, enfermeros y socorristas, la combinación con estrategias de realidad virtual, realidad aumentada y háptica está ganando cada vez más terreno en los protocolos de formación, entrenamiento, en todos los campos médicos, por lo que conocer esta tecnología, las herramientas que se utilizan y la eventual aplicación en nuestros protocolos de formación de médicos y socorristas son una necesidad creciente.

Este capítulo tiene como objetivo describir los resultados de una revisión de la literatura acerca de la realidad virtual, la realidad aumentada, háptica y sus aplicaciones en el entrenamiento de médicos y enfermeros de combate, así como las posibilidades en el desarrollo futuro de protocolos de entrenamiento para nuestro medio.

Metodología:

Se realizó una revisión de la literatura utilizando la metodología PRISMA en la base de datos PUBMED, utilizando los términos MeSH: "Military Medicine", "War-Related Injuries", "Virtual Reality", "Augmented Reality", incluyendo citas de autor, limitando la búsqueda a los últimos 10 años, obteniendo 2028 citas. Posteriormente se eliminan duplicados y se realiza una revisión de los artículos en función del título y/o resumen cuando estuviera disponible, enfocada en los sistemas de entrenamiento y simulación para médicos y paramédicos haciendo énfasis en los sistemas de realidad virtual, realidad aumentada y experiencias en el trauma de guerra en revistas indexadas con clasificación Q1 y Q2, obteniendo 46 registros. Se eliminaron los artículos que no se pudieron conseguir en texto completo, y finalmente se seleccionaron 11 documentos para completar el resumen. En algunos casos se permitieron textos de mayor antigüedad si estos tienen un contenido histórico o un contenido relevante para la construcción del texto.

Tabla 1. *metodología*



Resultados

La simulación en el Entrenamiento de Médicos y Enfermeros

Aunque resulta complejo establecer con precisión una fecha exacta de inicio para los escenarios de simulación clínica en aplicaciones médicas, los expertos consideran que las primeras manifestaciones de esta metodología educativa aparecieron entre las décadas de 1960 y 1980. Durante este período inicial, se comenzó con el diseño y desarrollo de maniqués y modelos que replicaban estructuras anatómicas o recreaban eventos fisiológicos particulares, marcando así los primeros pasos hacia lo que hoy conocemos como simulación médica moderna.(Corvetto et al., 2013).

Posteriormente, con el avance de la tecnología y la comprensión de las necesidades educativas en medicina, estos recursos se hicieron progresivamente más sofisticados y comunes en el ámbito académico. Su expansión se vio impulsada por el desarrollo e implementación de programas estructurados de entrenamiento en soporte vital básico (SVB) y soporte vital avanzado (SVA), los cuales han evolucionado hasta convertirse en componentes integrales e indispensables de la formación y entrenamiento tanto de médicos como de personal de enfermería en todos los niveles educativos. (referencia ACLS)

La adopción generalizada de esta metodología no se debe únicamente a la estandarización de procesos clínicos y a la clara definición de roles profesionales que permite este modelo educativo, sino también, a la capacidad que ofrece para replicar de manera sistemática, un protocolo para atender una emergencia médica real. Esta característica resulta valiosa, ya que permite a los estudiantes y profesionales practicar repetidamente procedimientos críticos en un ambiente seguro, sin comprometer la seguridad de pacientes reales, mientras desarrollan las competencias técnicas para su práctica profesional futura. La simulación clínica, por

tanto, ha demostrado ser una herramienta pedagógica fundamental que facilita la transición entre el aprendizaje teórico y la práctica clínica real, proporcionando un puente seguro y efectivo que minimiza los riesgos asociados con el proceso de aprendizaje en medicina. (Corvetto et al., 2013).

Desarrollo de Protocolos y Currículos en Simulación

Uno de los objetivos fundamentales en la atención de pacientes y en la formación integral del personal médico y paramédico consiste en asegurar la preparación en atención sanitaria con el máximo nivel de competencias profesionales y la máxima seguridad para los pacientes. Esta premisa cobra especial relevancia en la educación y preparación de socorristas de combate con poca o nula experiencia en la atención de pacientes, en donde el uso de protocolos bien establecidos, diseñados con rigor metodológico y con planes de estudio bien estructurados, permiten formar personal con altos niveles de calidad.

El campo de la simulación clínica ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, y en nuestro medio militar es probablemente una de las piedras angulares en la formación actual de socorristas de combate.

Al revisar la literatura disponible, se encuentra mucha información sobre el diseño de estos planes, incluso como lo describe Motola et al, el diseño de los planes curriculares en simulación debe seguir un proceso metodológico basado en la evidencia, con puntos muy estrictos para que se cumplan los criterios de formación en simulación de alta calidad. Estos planes de estudio y formación deben incluir cuatro fases de interconectadas y secuenciales así concebidas como componentes de un proceso continuo de mejoramiento y refinamiento pedagógico (Tabla 1) (Motola et al., 2013):

Fase de planificación: Requiere una cuidadosa definición de objetivos de aprendizaje específicos, la identificación de competencias a desarrollar, la selección apropiada de metodologías de simulación, y la determinación de recursos necesarios.

Fase de implementación: Se ejecuta el protocolo diseñado, asegurando la fidelidad del escenario simulado y la participación de los estudiantes.

Fase de evaluación: Involucra la medición sistemática del logro de objetivos de aprendizaje mediante herramientas de evaluación válidas y confiables.

Fase de revisión: Permite la reflexión crítica sobre la experiencia, la identificación de áreas de mejora y la incorporación de modificaciones para mejorar continuamente la calidad de los programas.

El desarrollo de un protocolo de simulación debería mantener las mismas características de calidad y rigor académico que se exigen a cualquier asignatura universitaria tradicional, incluyendo objetivos de aprendizaje claramente definidos, metodologías de enseñanza fundamentadas pedagógicamente, y sistemas de evaluación robustos que permitan medir de manera válida y confiable el progreso del estudiante. Esta equiparación en estándares de calidad asegura que la simulación clínica no sea percibida como una actividad complementaria o secundaria, sino como una estrategia educativa integral que contribuye significativamente al desarrollo de competencias profesionales esenciales para la práctica segura y efectiva. Además, la integración curricular de la simulación debe considerar la progresión natural del aprendizaje, desde escenarios de baja complejidad en estudiantes novatos hasta situaciones clínicas complejas para aprendices avanzados, garantizando así una construcción gradual y sólida de competencias profesionales (Motola et al., 2013).

Tabla 2. *Requerimientos Mínimos de un protocolo de simulación*

Planeamiento

- Delimitación de las competencias
- Establecimiento de Objetivos
- Determinación de los recursos educativos y requerimientos en simulación
- Establecer las necesidades logísticas
- Evaluación de las capacidades de los instructores
- Delimitación de las fases del curso (currículo)

Implementación

- Desarrollo del plan del curso

Evaluación

- Evaluación objetiva de la adquisición de competencias individuales
- Evaluación de la toma de decisiones de trabajo en equipo

Revisión

- Recopilación de experiencias para aplicación de mejoras continuas en el proceso

Esta tabla describe el proceso metodológico que debe desarrollar un protocolo de simulación con base en guías de práctica clínica internacionales para asegurar el aprendizaje de una competencia específica.

Elaboración propia, basada en (Motola et al., 2013)

Experiencia en Simulación Clínica: Programas de Entrenamiento Estandarizados

Fundamentos del ATLS en la Simulación Médica

El documento más significativo e influyente en la atención de pacientes politraumatizados que puede considerarse como la piedra angular en el manejo del trauma (Incluyendo el trauma de guerra), y que constituye además un componente integral en la formación de muchas de las especialidades médicas y quirúrgicas, es el ATLS (Advanced Trauma Life Support o Soporte Vital Avanzado en Trauma) por sus siglas en inglés ATLS.

El ATLS representa un programa estructurado de entrenamiento que data de 1978 y fue adoptado oficialmente por el Colegio Americano de Cirujanos a través de su Comité de Trauma. Su objetivo principal consiste en mejorar sistemáticamente las capacidades profesionales de atención en trauma mediante la combinación de un entrenamiento teórico-práctico integral que abarca el manejo de lesiones traumáticas de prácticamente cualquier región anatómica del cuerpo humano. Este programa incluye, como elemento fundamental para su desarrollo e implementación, una serie muy bien diseñada de eventos simulados que preparan a los profesionales para la toma de decisiones críticas en trauma en escenarios clínicos reales, aunque no necesariamente limitados al trauma de guerra. La metodología del ATLS utiliza una aproximación primaria y una secundaria, cada una de ellas sistematizada, siguiendo la mnemotecnia “ABCDE” (Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure por sus siglas en inglés), siendo este programa junto con el programa de entrenamiento del

American Heart Association en soporte vital básico y avanzado “BLS” y “ACLS” (Panchal et al., 2020), los ejemplo más claros de la formulación de protocolos de simulación clínica y entrenamiento a nivel global (Subcommittee, American College of Surgeons’ Committee on Trauma, & International ATLS working group, 2013).

No obstante, para el medio militar o para los enfermeros o socorristas de combate no requieren conocer todo el protocolo de atención en trauma. Las competencias en para este personal requiere la comprensión de las principales causas de lesiones y eventos que amenazan la vida, y se debería buscar que los eventos en simulación atendieran específicamente estos escenarios. El control de las hemorragias y por lo tanto los accesos vasculares, el manejo básico y avanzado de la vía aérea, atención inicial del trauma de tórax entre otras situaciones del trauma de guerra deberían ser priorizadas.

Programas de Soporte Vital: BLS y ACLS

Así como el ATLS se ha establecido como el programa de referencia internacional en entrenamiento para trauma, los protocolos especializados de entrenamiento para la atención del paciente en soporte vital básico (Basic Life Support - BLS) y en soporte cardiovascular avanzado (Advanced Cardiovascular Life Support - ACLS) (Panchal et al., 2020),constituyen como previamente se mencionó en ejemplos de formación y entrenamiento altamente protocolizados en el campo de la simulación clínica.

Incluso en este campo, hay trabajos en donde se evalúa por ejemplo la calidad de las compresiones, la frecuencia de las compresiones o incluso en el seguimiento del protocolo AHA de reanimación avanzada con el uso de lentes de realidad aumentada, con resultados que parecen no mostrar inferioridad en comparación con los métodos convencionales de entrenamiento. (Cheng et al., 2024; Dubreucq et al., 2025)

Estos programas están específicamente diseñados para que los participantes adquieran habilidades críticas de toma de decisiones en ambientes completamente simulados y controlados. Se centran en la evaluación inicial sistemática, el reconocimiento temprano del paciente en parada cardiorrespiratoria, el manejo avanzado de la vía aérea, el arresto (o parada) circulatoria, el reconocimiento e interpretación de arritmias cardíacas potencialmente mortales, y la administración de medicamentos de emergencia, asi como protocolos de

reanimación cardiopulmonar (RCP) entre otras habilidades esenciales (compresiones en RCP, administración de oxígeno, entre otros). Estos protocolos estandarizados han demostrado consistentemente, a través de múltiples estudios multicéntricos, su efectividad en la reducción significativa de la mortalidad y morbilidad asociadas con emergencias cardiovasculares.(Panchal et al., 2020).

Simulación en Medicina Militar: Entrenamiento Especializado

En el campo de la simulación para médicos militares, se encuentran en la literatura científica múltiples investigaciones que evalúan la adquisición de competencias especializadas a través de la simulación como metodología educativa. Un ejemplo de esta metodología es el entrenamiento intensivo en competencias de trauma de guerra en médicos no cirujanos generales, de todas las especialidades médicas (incluyendo pediatras, médicos internistas, emergenciólogos, entre otros especialistas). Estos profesionales reciben entrenamiento dirigido a la atención básica en trauma de guerra, fundamentado en la visión estratégica del ejército de Estados Unidos en donde se considera que debe mantenerse continuamente la capacidad de todos los médicos independientemente de su especialidad para realizar una evaluación inicial sistematizada (Triage), atención primaria en trauma, evacuación táctica y posterior traslado hasta un nivel de atención apropiado y concordante con la severidad y complejidad de las heridas de combate (Sohn et al., 2007).

Los cursos especializados abarcaban típicamente desde dos días intensivos de entrenamiento, estructurados metodológicamente en cuatro fases progresivas y complementarias. Dentro de estas fases, los elementos fundamentales de simulación en trauma se concentran en siete aspectos básicos y críticos que parecen ser extrapolables a los socorristas de combate: evaluación inicial sistematizada (Triage), evaluación primaria y secundaria del trauma, intubación orotraqueal y manejo avanzado de la vía aérea, vía aérea quirúrgica de emergencia, accesos venosos centrales e intraóseos, colocación de tubos de toracostomía cerrada, y aplicación correcta de torniquetes hemostáticos. Esta metodología ha demostrado su eficacia para lograr y mantener las habilidades básicas esenciales con el uso de ambientes simulados (Sohn et al., 2007).

Competencias Críticas en Medicina de Combate

Las habilidades en atención médica donde parece ser más crítica la adquisición de competencias especializadas y la realización de un entrenamiento específico y continuado para médicos y socorristas de combate incluyen prioritariamente: control efectivo de hemorragias masivas, manejo avanzado de la vía aérea en condiciones adversas, evaluación inicial rápida y sistemática del paciente, toracostomía cerrada de emergencia y adquisición de accesos vasculares en situaciones complejas (Tabla 2). En menor medida, pero no menos importante, se incluyen competencias como: estabilización provisional de fracturas complejas, soporte ventilatorio mecánico básico, control farmacológico del dolor, y manejo inicial de heridas complejas abdominales y torácicas. (Knisely et al., 2023)

La literatura científica disponible proporciona abundante evidencia empírica al respecto, donde se hace especial énfasis en la simulación sistemática para el desarrollo de estas competencias específicas que, en el contexto de la atención de heridos en el campo de combate, pueden cambiar el pronóstico vital de un combatiente herido. De la misma manera que los protocolos altamente estandarizados (ATLS – ACLS) ayudan a reducir la mortalidad y los desenlaces no mortales gracias a las competencias de adquiridas en los programas de simulación, programas con priorización de los elementos más relevantes del trauma de guerra podrían tener el mismo resultado.

Tabla 3. *Habilidades en Entrenamiento de Médicos y Socorristas*

Habilidades Principales:

- Evaluación inicial del herido (Incluye Triage)
- Control de Hemorragias
- Manejo de la vía aérea
- Accesos vasculares

Habilidades Complementarias:

- Toracostomía cerrada*
- Estabilización de fracturas
- Soporte ventilatorio**

- Control del dolor
- Heridas complejas abdominales

Esta tabla describe las principales habilidades que debe desarrollar un médico o un socorrista de combate que se entrena en trauma de guerra en el área de operaciones militares hasta la llegada a un centro de atención de trauma de mayor nivel de complejidad.

* Aunque la literatura lo ubica dentro de las habilidades del socorrista, este procedimiento debería ser realizado por un médico dadas las complicaciones potenciales.

** Requiere equipo y entrenamiento complementario.

Elaboración propia basada en (Knisely et al., 2023)

Realidad Virtual Y Realidad Aumentada en Entrenamiento Militar

La realidad virtual (RV) se define como un entorno generado por computadora en el que el usuario se siente completamente inmerso gracias a gráficos avanzados y objetos tridimensionales que recrean la sensación de presencia física. Un ejemplo cotidiano de RV son los videojuegos de realidad inmersiva, que pueden requerir o no gafas especiales para ofrecer una experiencia sensorial de 360 grados. Por su parte, la realidad aumentada (RA) consiste en superponer información digital sobre el entorno físico real. Esto incluye visualizaciones como pantallas de computadora proyectadas en gafas inteligentes, guías de tránsito integradas en los sistemas de aparcamiento de vehículos o datos de rutas y consumo de combustible mostrados en el parabrisas. La RA puede emplear también teléfonos inteligentes, auriculares de traducción simultánea y otros dispositivos que fusionan lo virtual con lo real denominado háptica. Estas tecnologías en su conjunto se denominan tecnologías de inmersión (Schmalstieg, 2016).

Desde 2003, la evolución de los teléfonos celulares inteligentes, el desarrollo de procesadores gráficos más potentes y la llegada de la inteligencia artificial han permitido integrar la RV y la RA en la educación y el entrenamiento de profesionales de la salud y socorristas militares (Linde, 2016). Estas tecnologías satisfacen la necesidad de entrenar habilidades clínicas y en escenarios simulados, manteniendo niveles rigurosos de calidad y seguridad. La mayoría de las tecnologías en VR y VA utilizan lentes inteligentes o “Smart Glasses” que son capaces

de generar una visión inmersiva permitiendo de acuerdo al software que se utilice una imagen en 360 grados y que son capaces a demás de generar visión en profundidad. Los modos tecnológicos que utilizan los lentes dependen de la cas matriz ue los diseña, y las acciones y protocolos son cuidadosamente seguidos por un instructor que controla y evalúa la simulación. (Department of Homeland Security & Directorate, n.d.)

En Estados Unidos, el uso de RV y RA en la formación médica y paramédica ha crecido exponencialmente. Hay compañías que datan al menos del año 2013 en el diseño de programas de simulación clínica con el uso de RV y de RA con oferta de protocolos y cursos que incluyen la adquisición de competencias en trauma de guerra. Una compañía estadounidense, SIMx, realizó una alianza con la Fuerza Aerea de los Estados Unidos para el diseño de un programa de entrenamiento medico militar con el uso de Realidad virtual: el programa VALOR (<https://www.simxvr.com/virtual-reality-medical-simulation-training-for-military/>). Este programa incluye al menos 20 ambientes en simulación que incluye desde módulos para socorristas de combate, hasta módulos de entrenamiento para cirujanos Generales y equipos quirúrgicos, aunque no son los únicos. Hay otras compañías que están desarrollando ambientes de simulación en entrenamiento médico militar o en cirugía de trauma con el uso de realidad aumentada o realidad virtual como Immersive Touch (<https://www.immersivetouch.com>), o compañías como HigherEchelon's (<https://www.higherechelon.com/augmented-realitys-applications-for-military-medical-training/>) por lo que este campo va a mostrar en los próximos años un desarrollo rápido y posiblemente masificación de la tecnología.

Las tecnologías en RV y la RA ya se estaban incorporando progresivamente en los currículos de formación, pero cobraron especial relevancia durante la pandemia de COVID-19 en el año 2021, cuando la simulación remota se convirtió en una herramienta esencial para la adquisición de competencias en situaciones de emergencia y la disponibilidad de escenarios de practica estaba limitada por el SARScoV2. Así mismo, en los últimos años está en aumento el uso de esta tecnología en lugares en que la distancia o la accesibilidad al entrenamiento medico por el desarrollo de operaciones militares, por ejemplo, en hospitales de campaña. Un estudio publicado en 2024 por Donathan et al, evaluó a estudiantes de programas acreditados de atención prehospitalaria (extrapolables a socorristas de combate en nuestro

medio en algunas de sus competencias) que recibieron entrenamiento en simulación junto con lentes de RV (Oculus Quest Gen 2). Se compararon las habilidades adquiridas con esta tecnología con estudiantes que recibieron un entrenamiento convencional en simulación, en este caso con un paciente con alteración del estado de conciencia. Como resultado, no se encontraron diferencias significativas en la adquisición de competencias críticas, lo que confirma la no inferioridad de la simulación con RV en el entrenamiento en situaciones de emergencia en atención prehospitalaria (Donathan et al., 2024).

La generación actual, nativa digital, muestra una alta predisposición a adoptar nuevas tecnologías en simulación. En un estudio prospectivo, investigadores evaluaron estudiantes de medicina de urgencias sobre su disposición al entrenamiento en simulación y uso de RV y RA, y observaron que ni la edad ni la experiencia previa con RV o RA afectaban su disposición al entrenamiento. No obstante, identificaron una discreta resistencia a estas tecnologías en el género femenino posiblemente por una predisposición a desarrollar mareo con el movimiento, hallazgo que requiere análisis adicionales en cohortes más amplias para determinar una verdadera causalidad. (Logeswaran et al., 2021)

En conjunto, la realidad virtual y la realidad aumentada se han consolidado como herramientas educativas capaces de enriquecer la formación clínica y táctica al ofrecer entornos controlados en los que los profesionales pueden adquirir y mejorar sus competencias antes de enfrentarse a desafíos reales.

Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Simulación en Entrenamiento en Trauma

En la literatura se encuentran múltiples experiencias en simulación clínica y uso de RV y RA, especialmente en la formación de médicos residentes de especialidades relacionadas con el trauma. Se encuentran múltiples referencias en procedimientos en neurocirugía (ventriculostomias), ortopedia y traumatología (fijación de fracturas y fasciotomías) y cirugía general (Cricotiroidotomias, toracostomias, entre otros). En el campo de la medicina militar, las aplicaciones que debería adquirir un médico o incluso un socorrista de combate están directamente relacionadas con intervenciones de emergencia que permitan salvar la vida, por ejemplo, en el manejo quirúrgico de la vía aérea en una cricotiroidotomía. En este punto en particular, se encuentran múltiples trabajos que han utilizado simuladores de RV en

combinación con modelos anatómicos para recrear la sensación táctil de un procedimiento quirúrgico (Mackenzie et al., 2022). También se encuentran trabajos que comparan diferentes estrategias de simulación que comparan la RV, RA, con la simulación convencional con modelos anatómicos y con cadáveres para procedimientos quirúrgicos, sin que se observe claramente superioridad de una técnica con otra (Bailey, 2024).

En un trabajo en el año 2015 se pretendía evaluar la efectividad y aceptabilidad en un grupo de médicos para el entrenamiento en cricotiroidotomía combinando VR e interfases hápticas con simuladores anatómicos (CricSim) observando hasta un 95% de efectividad en la adquisición de habilidades, con una aceptación tecnológica del 85% entre los médicos en formación (Proctor & Campbell-Wynn, 2015). Estos resultados emergentes abren la puerta a investigaciones prospectivas sobre la fiabilidad y durabilidad de las destreza adquiridas mediante estas tecnologías.

La RA también optimiza la enseñanza de habilidades quirúrgicas básicas como las suturas. Un ensayo que utiliza lentes de RA (Google Glasses) demostró que estudiantes sin experiencia previa en sutura de heridas replicaron correctamente la técnica guiados por un video proyectado en sus lentes, alcanzando resultados equivalentes a los de un tutor experto (Okuda & Quiñones, 2008). Asimismo, en un trabajo de investigación que utilizaba tecnología de RA para la enseñanza en inserción de catéteres centrales para médicos residentes en medicina de emergencias en donde se emplearon lentes RA (HoloLens de Microsoft) en donde se superponen visualizaciones tridimensionales de la anatomía de las venas del cuello sobre maniqués físicos que permiten simular la anatomía real, observando que la totalidad de los participantes pudieron completar el entrenamiento y el objetivo de posicionar los catéteres centrales (Kobayashi et al., 2018). Estos hallazgos permiten diseñar estudios prospectivos, más rigurosos, y con mejor diseño metodológico para evaluar estas tecnologías en pacientes reales.

En el contexto militar, se ha utilizado además la tele mentoría, que se trata de una tecnología que combina videoconferencias en tiempo real con lentes de RA y modelos anatómicos. Esta técnica ha demostrado su utilidad en el entrenamiento de primeros respondedores en operaciones navales (equivalentes a socorristas militares en nuestro medio. En este trabajo se realizaron torniquetes, toracotomías cerradas y cricotiroidotomías), como parte de los

procedimientos obligatorios del ambiente de simulación Los participantes completaron estos procedimientos exitosamente en su primer intento y en tiempos reducidos, lo que sugiere que la integración de RA y acompañamiento virtual puede mejorar la atención táctica en campos de combate, (Wessels et al. 2021).

Discusión:

El mundo avanza rápidamente en la búsqueda de soluciones a los problemas más frecuentes que se enfrentan día a día. En el campo médico, y especialmente en la medicina militar en donde el trauma de guerra es una de las principales amenazas para los combatientes, los principales y problemas están directamente relacionados con la formación y entrenamiento de médicos, enfermeros y socorristas de combate, esperando que las competencias que adquieran en los diferentes protocolos y programas de entrenamiento les den las competencias necesarias para atender a los heridos en combate con la mayor rapidez y con un personal bien entrenado, que actúe con seguridad e idealmente de una manera protocolizada y sistemática. Este tipo de habilidades solo se adquieren cuando se ha tenido acceso a la simulación de la mayor parte de los escenarios posibles para su posterior aplicación en un escenario real.

Como se mencionó previamente, la simulación clínica no es nada novedosa en la medicina, sin embargo, es una herramienta invaluable en el proceso de formación y adquisición de competencias en soporte vital básico y avanzado cardiovascular y en escenarios de trauma (que incluyen el trauma de guerra). Lo que probablemente si es novedoso, y tiene la potencialidad de cambiar el concepto de simulación como lo conocemos hoy en día, es la integración de la simulación con escenarios de realidad virtual y realidad aumentada. En este campo aun no se cuenta con escenarios sólidos y con datos estadísticos que permitan concluir acerca de la superioridad de la tecnología en comparación con los métodos tradicionales de formación y entrenamiento, sin embargo, si se puede concluir que los resultados no son inferiores y por lo tanto al menos son equiparables a los métodos convencionales.

La simulación permite adquirir destrezas tanto individuales como colectivas, permite desarrollar roles en un equipo de atención quirúrgica, diferenciar funciones según el tipo de

lesión que se esté atendiendo, permite practicar muchas veces un mismo procedimiento hasta que se domine una técnica en particular, y permite planear recursos, personal, e insumos para mejorar la calidad de la atención a los combatientes heridos. Como se observa en la actualidad, incluso los hospitales de tercer y cuarto nivel de complejidad están incorporando las técnicas de entrenamiento de realidad virtual y realidad aumentada en el proceso de formación de médicos residentes de especialidades clínicas y quirúrgicas para mejorar las competencias específicas en procedimientos médicos de alta, mediana y baja complejidad. Así mismo, es posible aplicar en la formación de médicos de combate y socorristas de combate estas ayudas educativas, centradas en los puntos más importantes de la atención en trauma de guerra.

La combinación de la RV y la RA con la simulación puede realizarse incluso sin un instructor presente en el ambiente de entrenamiento. Con una buena conexión a internet se puede llegar a zonas distantes. Para esto, se pueden priorizar los puntos más importantes en el entrenamiento de socorristas, definir uno o varios objetivos y desarrollar un entrenamiento virtual que permita mantener las habilidades en atención de heridos sin necesidad del desplazamiento a las ciudades principales, impactando los costos con un potencial ahorro gastos en tiempo, transporte y alojamiento, y potencialmente se puede incluir en estos procesos de entrenamiento y reentrenamiento a instructores internacionales. En este campo, hay experiencia acumulada en ejércitos de otros países (Fuerza Aérea de Estados Unidos, por ejemplo) que como se mencionó previamente tienen proyectos de desarrollo de Software en entrenamiento de médicos y socorristas de combate.

Una de las principales limitaciones para el acceso a estas tecnologías son los costos elevados de los dispositivos y del acceso al software que se requiere para su entrada en funcionamiento. La adquisición de los lentes, y la creación de los ambientes de simulación o la consecución de licencias de software tienen costos elevados, y deben ser valoradas teniendo en cuenta que hay limitaciones presupuestales para este fin. Es posible que, a mediano plazo, cuando se masifique el uso de estas tecnologías de RV y RA, que la evidencia muestre que estas tecnologías son superiores en el entrenamiento de los médicos, enfermeros o socorristas para la atención del trauma de guerra, y se haga cada vez más popular y de más fácil acceso, los costos bajen y se puede implementar como mayor facilidad.

El campo regulatorio aun no esta claramente definido en la legislación de nuestro país. Si bien se exigen por muchas clínicas y hospitales certificados de entrenamiento para personal médico y paramédico, los protocolos que se siguen son protocolos internacionales que en Colombia solo cuentan con aval de las sociedades científicas. No se cuenta con programas de certificación nacionales para instructores y aun requieren refrendación internacional (certificados del American Heart Association). Los instructores, deberían tener certificados formales no solo de entrenamiento sino también certificados de experiencia para formación de estudiantes, campos que en nuestro país aún están por desarrollarse.

Conclusiones:

En resumen, la combinación de realidad virtual, realidad aumentada (tecnologías de inmersión) en conjunto con el uso simulación con modelos anatómicos, ofrecen un entorno de entrenamiento seguro, reproducible. Estas tecnologías permiten generar competencias en procedimientos de alta complejidad, mejoran la retención de habilidades y facilitan la evaluación objetiva del desempeño de los médicos, enfermeros y socorristas que reciben entrenamiento.

Aunque aún no muestran superioridad sobre otros métodos de entrenamiento, es previsible que a medida que se acumule evidencia tanto local como internacional en la adquisición de destrezas, habilidades y formación, y que a medida que se mejoren los protocolos de enseñanza educativa, se consolidarán como pilares en la formación de profesionales de la salud en todos los campos, entre ellos, para socorristas militares, y las competencias que deben dominar en la atención de heridos en el campo de operaciones.

Hay muchas posibilidades de aplicación de la RA y la RV a mediano plazo en nuestro medio. La medicina avanza rápidamente en este campo en donde la adquisición de habilidades aumenta la seguridad en atención de heridos en combate y por lo tanto mejora la posibilidad de sobrevivir a un trauma de guerra.

Es posible iniciar a mediano plazo con el entrenamiento en simulación, sopesando costo beneficio de la adquisición de software. En las Fuerzas Militares de Colombia se tiene experiencia en simulación, aunque esta experiencia esta centrada en la formación de pilotos (en el caso de la Fuerza Aérea), o en la formación marinos e infantes de marina (Armada

Nacional). Así mismo se podría considerar como un proyecto estratégico el desarrollo de esta tecnología, que incluso puede proyectarse como un centro de formación internacional con potenciales ingresos para las Fuerzas.

Sería muy interesante incluir hospitales de referencia de cuarto nivel de complejidad con experiencia en simulación de escenarios quirúrgicos para la formación de Socorristas de Combate y Médicos que se desempeñen en orden público. La adquisición de competencias específicas en trauma de guerra debería estar presente en los planes de carrera, y deberían tener una periodicidad mínima para mejorar la atención de los heridos en combate.

Referencias

- Cheng, A., Fijacko, N., Lockey, A., Greif, R., Abelairas-Gomez, C., Gosak, L., & Lin, Y. (2024). Use of augmented and virtual reality in resuscitation training: A systematic review. In *Resuscitation Plus* (Vol. 18). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2024.100643>
- Corvetto, M., Pía Bravo, M., Montaña, R., Utili, F., Escudero, E., Boza, C., Varas, J., & Dagnino, J. (2013). Simulación en educación médica: una sinopsis. In *artículo de revisión rev Med chile* (Vol. 141).
- Department of Homeland Security, U. S., & Directorate, T. (n.d.). *Augmented Reality (AR) Training Systems for First Responders*. www.dhs.gov/science-and-technology/saver-documents-library.
- Dubreucq, E., Barlocco De La Vega, S., Bouaoud, J., Philippon, A. L., & Thiebaud, P. C. (2025). Impact of virtual, augmented or mixed reality in basic life support training: A scoping review. In *Clinical Simulation in Nursing* (Vol. 99). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2024.101672>
- Knisely, B. M., Gaudaen, J. C., Smith, A. V., Perta, J. M., Pamplin, J. C., Quinn, M. T., & Schmidt, P. M. (2023). Evaluating Medic Performance in Combat Casualty Care Simulation and Training: A Scoping Review of Prospective Research. In *Military Medicine* (Vol. 188, Issues 7–8, pp. E1664–E1672). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/milmed/usac250>
- Logeswaran, A., Munsch, C., Chong, Y. J., Ralph, N., & McCrossnan, J. (2021). The role of extended reality technology in healthcare education: Towards a learner-centred approach. *Future Healthcare Journal*, 8(1), e79–e84. <https://doi.org/10.7861/fhj.2020-0112>
- Mackenzie, C. F., Harris, T. E., Shipper, A. G., Elster, E., & Bowyer, M. W. (2022). Virtual reality and haptic interfaces for civilian and military open trauma surgery training: A systematic review. In *Injury* (Vol. 53, Issue 11, pp. 3575–3585). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.08.003>

Motola, I., Devine, L. A., Chung, H. S., Sullivan, J. E., & Issenberg, S. B. (2013). Simulation in healthcare education: A best evidence practical guide. AMEE Guide No. 82. *Medical Teacher*, 35(10). <https://doi.org/10.3109/0142159X.2013.818632>

Panchal, A. R., Bartos, J. A., Cabañas, J. G., Donnino, M. W., Drennan, I. R., Hirsch, K. G., Kudenchuk, P. J., Kurz, M. C., Lavonas, E. J., Morley, P. T., O'Neil, B. J., Peberdy, M. A., Rittenberger, J. C., Rodriguez, A. J., Sawyer, K. N., & Berg, K. M. (2020). Part 3: Adult Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*, 142(16 2), S366–S468. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000916>

Proctor, M. D., & Campbell-Wynn, L. (2015). Effectiveness, usability, and acceptability of haptic-enabled virtual reality and mannequin modality simulators for surgical cricothyroidotomy. *Military Medicine*, 179(3), 260–264. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-13-00365>

Sohn, V. Y., Runser, L. A., Puntel, R. A., Sebesta, J. A., Beekley, A. C., Theis, J. L., Merrill, N. L., Roth, B. J., & Rush, R. M. (2007). Training Physicians for Combat Casualty Care on the Modern Battlefield. *Journal of Surgical Education*, 64(4), 199–203. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2007.05.007>

ATLS Subcommittee, American College of Surgeons' Committee on Trauma, & International ATLS working group (2013). Advanced trauma life support (ATLS®): the ninth edition. *The journal of trauma and acute care surgery*, 74(5), 1363–1366. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31828b82f5>

Schmalstieg, Dieter & Höllerer, Tobias. (2016). Book: Augmented Reality - Principles and Practice.

Virtual Reality Operational Military Medical Training. VALOR Program. (2025) <https://www.simxvr.com/virtual-reality-medical-simulation-training-for-military/> .

Augmented Reality's Applications for Military Medical Training. (2023) <https://www.higherechelon.com/augmented-realitys-applications-for-military-medical-training/>

Linde, A. S., & Kunkler, K. (2016). The Evolution of Medical Training Simulation in the U.S. Military. *Studies in health technology and informatics*, 220, 209–214.

Bailey, S. K. T., Brannick, M. T., Bowling, F., Reiner, C. C., Lyons, D., Llerena, L. E., & Okuda, Y. (2024). Comparing Capabilities of Simulation Modalities for Training Combat Casualty Care: Perspectives of Combat Medics. *Military medicine*, 189(7-8), e1738–e1744. <https://doi.org/10.1093/milmed/usad460>

Trauma Surgery With Immersible AR. *Immersive Touch* (2025).
<https://www.immersivetouch.com>