



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y  
AUTOMATIZACIÓN**

**Desarrollo de una aplicación inmersiva para el entrenamiento en atención inicial  
en crisis médicas apoyado en realidad mixta.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Electrónica y Automatización.

AUTORES: Bryan Rolando Guañuna Morales

TUTOR: Gustavo Javier Caiza Guanochanga

Quito-Ecuador

2026

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Bryan Rolando Guañuna Morales con documento de identificación N° 1724365646 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 11 de febrero de 2026

Atentamente,



---

Bryan Rolando Guañuna Morales  
1724365646

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DEL TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Bryan Rolando Guañuna Morales con documento de identificación No. 1724365646, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo académico: “Desarrollo de una aplicación inmersiva para el entrenamiento en atención inicial en crisis médicas apoyado en realidad mixta”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en electrónica y automatización, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de febrero de 2026

Atentamente,



---

Bryan Rolando Guañuna Morales  
1724365646

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gustavo Javier Caiza Guanochanga con documento de identificación N° 1721192191 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN INMERSIVA PARA EL ENTRENAMIENTO EN ATENCIÓN INICIAL EN CRISIS MÉDICAS APOYADO EN REALIDAD MIXTA, realizado por Bryan Rolando Guañuna Morales con documento de identificación N° 1724365646, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de febrero de 2026

Atentamente,



---

Ing. Gustavo Javier Caiza Guanochanga PhD

1721192191

## **DEDICATORIA**

A mi padre, Rolando, por ser un pilar incondicional en mi vida, por su amor firme, constante e inamovible que me ha sostenido incluso en los momentos más difíciles. A mi hermana Yadira, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, y por entregarme ese amor inmenso que solo una madre puede dar. A mis hermanos Andrea, Alexis e Israel, y a mis sobrinos Mónica y Alan, por ser el motor que me inspira a seguir adelante y esforzarme cada día por ser mejor. Y a mi madre Mónica, que desde siempre ha sido nuestra guía silenciosa, la que nos cuida, nos bendice y nos enseñó, con su ejemplo de vida, el valor del esfuerzo, la humildad y la bondad.

Este logro es de ustedes. Gracias por ser mi fuerza.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, por haber sido mi refugio en los momentos más oscuros y difíciles, por darme fuerza cuando sentí que no podía más, y por brindarme consuelo cada vez que necesitaba ser escuchado. Agradezco profundamente a mi tutor, el Ing. Gustavo Caiza, por confiar en mí para la realización de este trabajo, por su guía constante, y por acompañarme con paciencia y profesionalismo en cada etapa de este proceso. A los ingenieros y laboratoristas que fueron parte de mi formación académica. A mis compañeros y amigos que, a lo largo de la carrera, compartieron conmigo aprendizajes, desafíos, alegrías y momentos inolvidables. Gracias por haber sido parte de este camino.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

## Resumen

La realidad mixta (RM) se ha consolidado como una herramienta eficaz en la educación médica, al permitir experiencias inmersivas que integran el entorno real con simulaciones virtuales. Aunque su uso ha mostrado resultados positivos en procedimientos quirúrgicos y formación clínica avanzada, su aplicación en el entrenamiento de primeros auxilios sigue siendo limitada, especialmente en emergencias que requieren tanto habilidades técnicas como regulación emocional y juicio contextual. Este estudio presenta el diseño, desarrollo y validación de AEGIS, una aplicación educativa en RM orientada al entrenamiento en cinco emergencias médicas prehospitalarias: obstrucción de la vía aérea, paro cardiorrespiratorio, crisis epiléptica, crisis diabética y ataque de pánico. La aplicación fue construida en Unity, integrando tecnologías de hand tracking, passthrough y un asistente virtual animado, todo sincronizado mediante señales en Unity Timeline. El enfoque metodológico fue de investigación aplicada, e incluyó una revisión clínica de guías oficiales, el modelado y animación 3D de escenarios y un asistente, el diseño instruccional basado en aprendizaje activo y una validación funcional con 20 usuarios universitarios. Los resultados muestran un aprendizaje efectivo en todos los casos simulados, con especial éxito en el manejo del ataque de pánico donde los usuarios superaron la simulación con el mayor puntaje 100/100 en un solo intento, una alta percepción de inmersión y utilidad por parte de los usuarios. Se concluye que AEGIS es una solución, técnicamente viable y pedagógicamente fundamentada, con gran potencial para mejorar la formación en primeros auxilios, especialmente en contextos sin acceso a simuladores físicos o instrucción formal

**Palabras Clave:** Entrenamiento inmersivo; educación médica; hand tracking; Meta Quest; primeros auxilios; passthrough; realidad mixta; simulación clínica; Unity.

### **Abstract.**

Mixed reality (MR) has established itself as an effective tool in medical education by enabling immersive experiences that integrate the real environment with virtual simulations. Although its use has shown positive results in surgical procedures and advanced clinical training, its application in first aid education remains limited especially in emergencies that require not only technical skills but also emotional regulation and contextual judgment. This study presents the design, development, and validation of AEGIS, an educational MR application aimed at training users in five prehospital medical emergencies: airway obstruction, cardiopulmonary arrest, epileptic seizures, diabetic crises, and panic attacks. The application was developed in Unity, integrating hand tracking, color passthrough, and an animated virtual assistant, all synchronized through signals in Unity Timeline. The methodological approach was applied research and included a clinical review of official guidelines, 3D modeling and animation of scenarios and the assistant, instructional design based on active learning, and a functional validation with 20 university students. The results showed effective learning in all simulated cases, with outstanding performance in managing panic attacks, where users achieved the maximum score (100/100) on the first attempt. Participants also reported a high perception of immersion and usefulness. It is concluded that AEGIS is a technically feasible and pedagogically grounded solution with strong potential to enhance first aid training, especially in contexts with limited access to physical simulators or formal instruction.

**Keywords:** Clinical simulation; first aid; hand tracking; immersive training; medical education; Meta Quest; mixed reality; passthrough; Unity.

## Índice de Contenido

1	Introducción .....	1
2	Metodología .....	2
2.1	Revisión clínica y elección de protocolos .....	2
2.2	Construcción del asistente virtual y animaciones .....	2
2.3	Desarrollo técnico de la aplicación AEGIS en Unity .....	2
2.4	Diseño instruccional y estructura de escenarios .....	3
2.5	Validación preliminar .....	6
2.6	Pruebas de usuario .....	6
3	Análisis de resultados .....	6
3.1	Validación de contenido .....	6
3.2	Evaluaciónn funcional por desempeño (n = 20) .....	7
3.3	Evaluaciónn de satisfacción (n = 20) .....	7
4	Discusión .....	8
4.1	Eficacia en el entrenamiento de emergencias .....	8
4.2	Percepción del usuario y realismo inmersivo .....	8
4.3	Consistencia con la literaria previa .....	9
5	Conclusiones .....	9
6	Referencias .....	1

# Desarrollo de una aplicación inmersiva para el entrenamiento en atención inicial en crisis médicas apoyado en realidad mixta.

Bryan R. Guañuna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica Salesiana, UPS, Quito, Ecuador  
bguanunam@est.ups.edu.ec

## 1 Introducción

En los últimos años la realidad mixta (RM) ha consolidado su posición como tecnología transformadora en el ámbito médico, fusionando entornos físicos y virtuales para crear experiencias interactivas que mejoran la precisión clínica y la formación profesional [1]. Esta capacidad de superponer información digital en tiempo real ha demostrado especial utilidad en procedimientos quirúrgicos complejos, donde optimiza la planificación preoperatoria y la navegación intraoperatoria mediante visualización tridimensional [2], [3]. Ejemplos notables incluyen resecciones de focos epilépticos guiadas por RM multimodal [4], técnicas de anestesia epidural con un 60% menos de errores [5], y procedimientos de tele mentoría en cirugía intraocular que permiten a expertos guiar intervenciones a distancia sin comprometer la esterilidad del campo quirúrgico [6]. Más allá del quirófano, su aplicación se extiende al análisis funcional, como en la evaluación cinemática de la marcha en enfermedad de Parkinson mediante sensores inerciales [7].

En el ámbito educativo, los entornos inmersivos basados en RM han demostrado beneficios pedagógicos significativos. Por ejemplo, en el aprendizaje del piano, se ha evidenciado una mejora en el rendimiento y la satisfacción del estudiante en comparación con métodos tradicionales [12]. En educación científica, experiencias inmersivas combinadas con andamiajes instruccionales han potenciado el aprendizaje activo, especialmente en estudiantes con baja motivación intrínseca, quienes mostraron mejor 10 ras del 37% en rendimiento académico [13]. En el contexto específico de la formación en primeros auxilios, la RM ha incrementado la retención de habilidades clave, como una mejora del 42% en la precisión de las compresiones torácicas en RCP frente a métodos tradicionales con maniqués estáticos [14]. También ha facilitado el aprendizaje de técnicas clínicas complejas, como la punción lumbar, con tasas de éxito comparables a las obtenidas en entrenamientos presenciales [15], y ha mejorado la comprensión de condiciones crónicas como la diabetes mediante enfoques experienciales [16]. Además, sistemas bien diseñados han demostrado generar altos niveles de motivación intrínseca (5.32/7) y percepción de presencia física (más de 6/7), especialmente en aprendices con baja motivación inicial [13]. No obstante, múltiples estudios advierten que aún falta rigor metodológico, integración de teorías de aprendizaje y evaluación de carga cognitiva [17].

La mayoría de estos entornos carecen de retroalimentación personalizada, y no lo gran replicar adecuadamente el estrés de una emergencia, lo que limita la formación de respuestas instintivas en situaciones críticas [18]. Además, mientras la RM ha demostrado efectividad en la enseñanza de maniobras estándar como la RCP, existe una carencia de herramientas inmersivas específicas para entrenar la atención de emergencias que requieren tanto habilidades técnicas como regulación emocional y juicio contextual, como es el caso de crisis diabéticas, convulsiones epilépticas y ataques de pánico.

En este escenario se desarrolló AEGIS, una aplicación educativa en realidad mixta diseñada para entrenar a los usuarios en la atención de emergencias médicas prehospitalarias. AEGIS integra tecnologías de handtracking, passthrough y paneles interactivos, junto con un personaje guía persistente y animaciones clínicas sincronizadas por señales en Unity Timeline. Su estructura incluye escenarios de aprendizaje guiado, simulación autónoma y retroalimentación formativa, permitiendo al usuario practicar técnicas como la maniobra de Heimlich, RCP o la atención ante crisis epilépticas, diabéticas y de ansiedad. La propuesta se basa en principios de aprendizaje activo y multimodal, y busca ofrecer una solución inmersiva y precisa para la formación en primeros auxilios, especialmente en contextos con recursos médicos limitados.

## **2 Metodología**

Este estudio adoptó un enfoque de investigación aplicada centrado en el desarrollo de una aplicación educativa inmersiva en realidad mixta (RM), orientada a la formación en primeros auxilios en contextos prehospitalarios. La propuesta, AEGIS, fue diseñada como una experiencia interactiva que permite al usuario aprender y practicar protocolos de emergencia mediante simulaciones realistas. La metodología seguida integró diseño instruccional, desarrollo tecnológico iterativo y evaluación preliminar con usuarios.

### **2.1 Revisión clínica y elección de protocolos**

Como punto de partida, se seleccionó cinco crisis médicas para ser simuladas. Después, se realizó una encuesta con  $n = 72$  para validar que las personas tienen poco o nulo conocimiento de cómo enfrentarse a las emergencias seleccionadas. Se realizó una búsqueda sistemática de guías clínicas oficiales y literatura científica publicada desde el año 2020, centrada en la atención prehospitalaria de emergencias frecuentes como obstrucción de la vía aérea [19], convulsiones [20], [21], hipoglucemia [22], [23], ataques de pánico [24] y paro cardiorrespiratorio [19]. Se revisaron y estandarizaron los protocolos de primeros auxilios. A partir de esta revisión, se establecieron los pasos críticos y la secuencia de instrucciones para cada emergencia, los cuales sirvieron como base para las animaciones, la lógica del sistema y el sistema de evaluación.

### **2.2 Construcción del asistente virtual y animaciones**

El desarrollo de los componentes visuales comenzó con el modelado de un asistente médico animado con estética tipo chibi, utilizando el software Blender. Se realizó la retopología del modelo 3D, seguido de un rigging completo para permitir su animación dentro del entorno inmersivo. A este personaje se le incorporaron gestos y expresiones que acompañan de forma amigable la explicación de cada procedimiento médico.

Simultáneamente, se animaron cinco escenarios clínicos con el paciente y el socorrista, representando visualmente las secuencias de las emergencias. Las animaciones fueron pensadas para coincidir con la narrativa del asistente y permitir una fácil comprensión de los pasos a seguir por parte del usuario.

### **2.3 Desarrollo técnico de la aplicación AEGIS en Unity**

La implementación técnica se realizó en el motor Unity, utilizando el lenguaje de programación C# y el paquete Meta XR Interaction SDK, orientado al visor Meta Quest Pro. Se integraron funciones avanzadas de handtracking, passthrough a color, y UI flotante, lo que permitió una experiencia inmersiva que combina el entorno real del

usuario con elementos virtuales tridimensionales. El usuario a través de las gafas Meta Quest Pro visualiza el mundo que lo rodea gracias a la tecnología de passthrough, de la misma manera mediante handtracking las gafas rastrean en tiempo real la posición de las manos del usuario esto se utiliza para interactuar con los objetos virtuales sin necesidad de mandos o controles adicionales.

La lógica de la aplicación se organizó en módulos independientes por emergencia, utilizando Unity Timeline y señales personalizadas para sincronizar la aparición de animaciones, subtítulos, audios y paneles. Los scripts fueron diseñados de forma modular y asignados a objetos mediante atributos Header para facilitar su reutilización.

#### 2.4 Diseño instruccional y estructura de escenarios

El diseño instruccional se basó en principios del aprendizaje experiencial y el andamiaje instruccional, permitiendo al usuario avanzar desde la guía paso a paso hasta la simulación autónoma evaluada. La aplicación se estructuró en varios escenarios conectados entre sí.

**Escenario principal.** Incluye tres paneles flotantes para seleccionar entre los escenarios de “Entrenamiento”, “Simulación” y “Progreso”.



Fig. 1. Escenario principal

**Escenario de entrenamiento.** El modo entrenamiento que contiene un panel flotante para elegir una de las cinco emergencias, otro panel de control con botones play, pausa, adelantar, reiniciar, salir, un panel de subtítulos, y el asistente chibi que guía al usuario mientras se reproducen las animaciones educativas.



**Fig. 2.** Escenario de entrenamiento

**Escenario simulación.** El usuario selecciona una emergencia, aparece un personaje que la simula y se requiere que el usuario intervenga físicamente mediante hand tracking.

Se presenta dos tipos de interacciones, la primera donde se toca al paciente virtual y este reacciona.



**Fig. 3a.** Simulación ataque RCP y maniobra Heimlich.

La segunda el usuario guía con frases y dicta acciones.



**Fig. 3b.** Simulación ataque de pánico.

La tabla 1 muestra las posibles interacciones del usuario con el paciente virtual y los parámetros evaluados.

**Table 1. parámetros e interacciones.**

<b>Emergencia</b>	<b>Interacciones</b>	<b>Parámetros evaluados</b>
Atragantamiento	Maniobra de Heimlich, golpe en la espalda.	Cantidad de ciclos completos 5 golpes + 5 compresiones, tiempo total de resolución de la emergencia.
Paro cardiorrespiratorio	Compresiones en el pecho	Número de ciclos realizados, tiempo entre ciclos, duración total hasta la reanimación.
Crisis epiléptica	Cabeza, brazos y pierna derecha.	Protección cefálica durante convulsión, colocación en posición lateral de seguridad, tiempo total de respuesta.
Crisis diabética	Selección de frases para decirle al paciente y acciones para realizar con el paciente	Selección de frases, postura sentada, elección correcta del recurso, tiempo de atención.
Ataque de pánico	Selección de frases para decirle al paciente y acciones para realizar con el paciente	Selección de frases, instrucción postural, elección del método calmante, tiempo de resolución.

**Escenario progreso.** Dos paneles flotantes uno muestra las puntuaciones obtenidas por emergencia en la fase de simulación, el panel permite visualizar el avance personal en la etapa de entrenamiento.



**Fig. 4.** Escenario de progreso

## 2.5 Validación preliminar

Se llevó a cabo una prueba piloto con cinco estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes interactuaron con los escenarios de entrenamiento y simulación. Se evaluaron aspectos como claridad del contenido, comprensión de instrucciones, navegación y facilidad de uso. A partir de esta retroalimentación, se ajustaron tiempos de aparición, sincronización audiovisual y posiciones de objetos interactivos

## 2.6 Pruebas de usuario

La versión final de AEGIS fue probada por un grupo de 20 estudiantes universitarios. Tras capacitarse en el modo entrenamiento, ingresaron a la simulación para aplicar lo aprendido. Se registró la puntuación obtenida por emergencia y el tiempo requerido para completarla.

Al finalizar, se aplicó un cuestionario tipo Likert para medir percepción de claridad, utilidad, inmersión y facilidad de uso. Estos datos permitirán en futuras fases realizar un análisis cuantitativo más profundo sobre el impacto pedagógico de la aplicación.

## 3 Análisis de resultados

El desarrollo de este trabajo de implementación fue bajo una revisión sistemática de literatura especializada, consultados en base de datos como ResearchGate, Google Académico, IEEE, Scopus, etc. Estos documentos han aportado diversas propuestas metodológicas tanto de hardware y software orientados a RTLS. De la literatura encontrada en la sección de introducción se asociaron los estudios que incorporan sistemas de gestión avanzados para resolver problemas de localización de nutrientes en el sector agrícola. En particular, se identificó una brecha importante, la mayoría de las soluciones disponibles están dirigidas a escenarios a gran escala, con tecnologías costosas o infraestructura compleja, lo cual resulta inadecuado para pequeños productores agrícolas.

### 3.1 Validación de contenido

Antes del desarrollo de los escenarios interactivos, se diseñó una encuesta con el objetivo de justificar la selección de las cinco emergencias médicas simuladas e identificar brechas de conocimiento en la población general. Las preguntas buscaban evaluar la

formación previa en salud, la capacitación específica en primeros auxilios y el nivel de seguridad percibido frente a cada tipo de emergencia seleccionada.

Este enfoque permitió validar la pertinencia de las simulaciones integradas en AEGIS desde una perspectiva de necesidad educativa.

**Table 2.** Preguntas para validación de contenido de la aplicación.

<b>Pregunta</b>	<b>% Si</b>	<b>% No</b>
Formación en salud	41.6%	58.4%
Capacitación previa en primeros auxilios	63.8%	36.2%
Como manejar un atragantamiento	41.7%	58.3%
Como actuar ante una crisis epiléptica	41.7%	58.3%
Como manejar un ataque de pánico	41.7%	58.3%
Que hacer en una crisis diabética	44.4%	55.6%
Como realizar RCP	33.3%	66.7%

Los resultados expuestos en la Tabla 2 evidencian un bajo nivel de preparación general frente a emergencias médicas comunes. Solo el 41.6% de los encuestados tiene formación o vínculo con el área de la salud, y aunque el 63.8% reportó haber recibido capacitación previa en primeros auxilios, esto no se traduce en una seguridad real sobre cómo actuar ante situaciones específicas.

Llamativamente, menos del 45% de los participantes indicó saber cómo actuar ante atragantamientos, crisis epilépticas, ataques de pánico o crisis diabéticas. Especial preocupación genera la técnica de reanimación cardiopulmonar (RCP), donde apenas un 33.3% afirmó conocerla. Estos datos refuerzan la pertinencia de las cinco emergencias seleccionadas en AEGIS, ya que todas presentan una brecha clara de conocimiento y preparación en la población general. Por tanto, la aplicación responde a una necesidad real y urgente de formación, interactiva e inmersiva en primeros auxilios.

### 3.2 Evaluación funcional por desempeño (n = 20)

La evaluación funcional tuvo como objetivo determinar el nivel de desempeño alcanzado por los usuarios tras completar el entrenamiento en AEGIS. Cada participante enfrentó cinco simulaciones clínicas distintas, registrándose el número de intentos necesarios para completarlas correctamente y el puntaje obtenido. Los resultados se resumen en la Tabla 3.

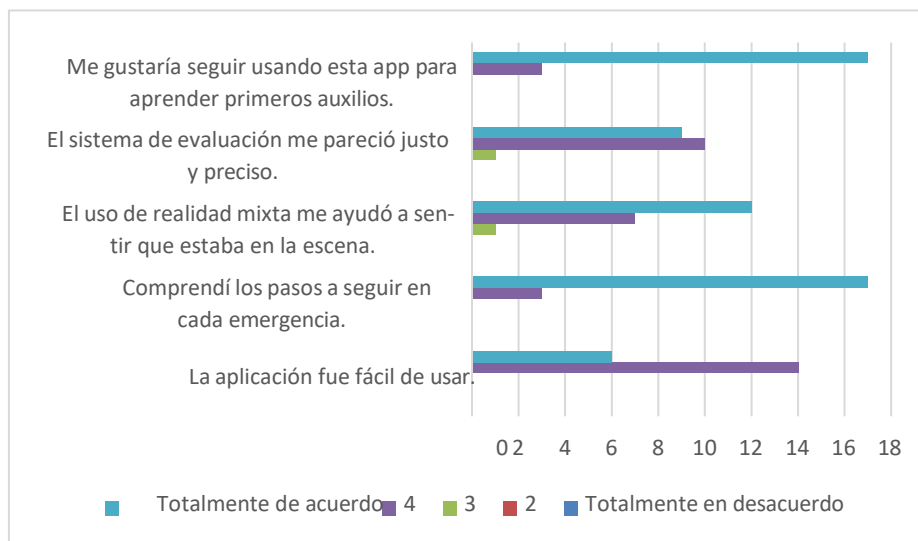
**Table 3.** Resultados promedio evaluación de desempeño

<b>Emergencia</b>	<b>número de intentos promedio</b>	<b>Puntaje promedio</b>
<b>Rcp</b>	2	90
<b>Heimlich</b>	2	80
<b>Crisis epiléptica</b>	2	80
<b>Crisis diabética</b>	2	90
<b>Ataque de pánico</b>	1	100

### 3.3 Evaluación de satisfacción (n = 20)

Luego de completar el entrenamiento y la simulación, los participantes respondieron un cuestionario tipo Likert de 5 puntos para evaluar su experiencia con la aplicación.

Las preguntas abordaban la facilidad de uso, comprensión del contenido, inmersión, percepción del sistema de evaluación y disposición a seguir utilizando la app.



**Fig. 5.** Evaluación de satisfacción

## 4 Discusión

El presente estudio propuso y evaluó una solución innovadora para la enseñanza de primeros auxilios en contextos prehospitalarios, mediante una aplicación educativa inmersiva en realidad mixta (RM) denominada AEGIS. Los resultados obtenidos reflejan tanto la viabilidad técnica de la propuesta como su impacto positivo en el aprendizaje de los usuarios, su motivación intrínseca y la percepción de realismo ante situaciones críticas simuladas.

### 4.1 Eficacia en el entrenamiento de emergencias

Los datos de la evaluación funcional ( $n = 20$ ) evidencian un desempeño exitoso en la ejecución de los protocolos clínicos. Emergencias como el ataque de pánico, que obtuvo un puntaje promedio de 100/100 en un solo intento, así como la crisis diabética y la reanimación cardiopulmonar (ambas con 90/100 y dos intentos promedio), indican que los usuarios fueron capaces de aprender y aplicar correctamente los pasos luego de una única sesión de entrenamiento. Por otro lado, la crisis epiléptica requirió tres intentos en promedio para lograr un desempeño aceptable, lo cual sugiere que AEGIS también permite identificar aquellas situaciones que requieren refuerzo, funcionando como un entorno adaptativo y progresivo.

### 4.2 Percepción del usuario y realismo inmersivo

La percepción de los usuarios fue altamente positiva. El 100% de los participantes declaró que la aplicación fue fácil de usar, comprensible y útil para el aprendizaje de primeros auxilios. El 95% afirmó sentirse inmerso gracias a la integración del passthrough y el hand tracking, destacando la sensación de realismo al poder interactuar

directamente con el entorno simulado sin el uso de controladores físicos. Estas respuestas sugieren que la experiencia inmersiva generada por AEGIS no solo mejora la comprensión conceptual, sino que también potencia el compromiso emocional y la toma de decisiones en escenarios simulados.

### **4.3 Consistencia con la literatura previa**

Los hallazgos obtenidos son coherentes con estudios previos que destacan los beneficios de la realidad mixta en la educación médica. Por ejemplo, se ha reportado una mejora del 42% en la retención de habilidades en RCP utilizando entornos inmersivos frente a métodos tradicionales con maniqués estáticos [14], y tasas de éxito comparables en procedimientos clínicos complejos como la punción lumbar [15]. Además, investigaciones sobre diseño instruccional en contextos inmersivos han demostrado incrementos del 37% en el rendimiento académico, especialmente en estudiantes con baja motivación inicial [13]. AEGIS se alinea con estas evidencias al integrar elementos clave como el acompañamiento narrativo, la interacción natural con el entorno y un sistema de retroalimentación inmediata.

## **5 Conclusiones**

Este estudio logró desarrollar y validar AEGIS, una aplicación educativa inmersiva en realidad mixta orientada al entrenamiento en primeros auxilios en contextos prehospitalarios. La propuesta integró tecnologías avanzadas como hand tracking, passthrough y paneles interactivos con un enfoque instruccional basado en el aprendizaje activo, lo que permitió alcanzar los objetivos propuestos de manera efectiva.

En primer lugar, se cumplió el objetivo de investigación clínica y tecnológica, mediante una revisión sistemática de guías clínicas recientes y literatura científica publicada desde 2020, que permitió establecer los pasos críticos para cinco emergencias médicas seleccionadas: maniobra de Heimlich, reanimación cardiopulmonar, crisis epiléptica, crisis diabética y ataque de pánico. Esta base técnica sustentó tanto las animaciones como el sistema de evaluación automático implementado.

En segundo lugar, se construyeron los escenarios inmersivos interactivos utilizando Unity y Blender, incorporando un asistente virtual animado y entornos clínicos diseñados para guiar paso a paso al usuario. La aplicación fue probada en dispositivos Meta Quest Pro, integrando passthrough y rastreo manual, lo cual reforzó la sensación de presencia e interacción natural.

Los resultados de la prueba funcional con 20 estudiantes evidencian un aprendizaje efectivo: los participantes lograron aplicar correctamente los protocolos en su mayoría en uno o dos intentos, con puntajes altos especialmente en maniobras como RCP y crisis diabética. Emergencias más complejas como la crisis epiléptica requirieron más intentos, lo que muestra que la app también permite detectar áreas donde se necesita refuerzo, cumpliendo con su función formativa. Adicionalmente, la validación de contenido previa ( $n = 72$ ) demostró una brecha generalizada en conocimientos de primeros auxilios en la población general, reforzando la relevancia de soluciones como AEGIS. Solo un pequeño porcentaje de los encuestados se sentía preparado para enfrentar las crisis simuladas, lo que valida tanto la elección de las emergencias como el enfoque pedagógico de la aplicación. La satisfacción de los usuarios fue alta, destacándose la facilidad de uso, claridad en los contenidos y el realismo proporcionado por la

tecnología de RM. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos sobre entornos inmersivos, que evidencian mejoras en retención, motivación y rendimiento frente a métodos tradicionales.

En síntesis, AEGIS representa una solución técnica, pedagógica y socialmente pertinente para la enseñanza de primeros auxilios. Combina inmersión y efectividad, aportando una herramienta valiosa para el entrenamiento autónomo.

## 6 Referencias

- [1] S. Smith et al., "Mixed reality in medical imaging: A review," *Journal of Medical Imaging*, vol. 11, no. 6, pp. 062608, 2024, doi: 10.1117/1.JMI.11.6.062608.
- [2] A. Johnson et al., "Advances in surgical navigation using mixed reality," *Journal of Medical Imaging*, vol. 11, no. 6, pp. 062607, 2024, doi: 10.1117/1.JMI.11.6.062607.
- [3] M. Pérez et al., "Mixed reality applications in surgery," *Frontiers in Virtual Reality*, 2021, doi: 10.3389/frvir.2021.692641.
- [4] M. Lee et al., "Multimodal mixed reality-guided epilepsy resection," *Operative Neurosurgery*, vol. 80, no. 2, 2024, doi: 10.1093/ons/opaa341.
- [5] C. Martínez et al., "Epidural anesthesia with mixed reality assistance: Reduced error rates," *BMC Anesthesiology*, vol. 23, 2023, doi: 10.1186/s12871-023-02133-w.
- [6] J. K. Park et al., "Telementoring in intraocular surgery with mixed reality," *Ophthalmology and Therapy*, vol. 14, 2025, doi: 10.1007/s40123-025-01117-y.
- [7] D. Chen et al., "Functional gait analysis in Parkinson's disease with inertial sensors and mixed reality," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 75, 2025, doi: 10.1016/j.bspc.2025.107659.
- [8] L. García et al., "Nursing training for emergencies using mixed reality," *Nurse Education in Practice*, vol. 65, 2025, doi: 10.1016/j.nepr.2025.104415.
- [9] F. Ahmed et al., "Mixed reality for first aid in battlefield scenarios," *JMIR Serious Games*, vol. 10, no. 3, 2025, doi: 10.2196/40727.
- [10] S. Kumar et al., "Simulations for multi-victim incidents with mixed reality," *Educational Technology Research and Development*, vol. 73, 2025, doi: 10.1007/s11423-025-10517-7.
- [11] R. Torres et al., "Cost and accessibility limitations of mixed reality in healthcare," *Transportation Research Procedia*, vol. 75, 2023, doi: 10.1016/j.trpro.2023.11.304.
- [12] M. Sato et al., "Improving piano learning performance through immersive environments," *Virtual Reality*, 2024, doi: 10.1007/s10055-024-00953-w.
- [13] H. Wang et al., "Immersive science education for low-motivation students," *Educational Technology Research and Development*, 2024, doi: 10.1007/s11423-024-10369-7.
- [14] J. Martínez et al., "Mixed reality training for CPR skills," *Annals of Medicine and Surgery*, vol. 79, 2022, doi: 10.1016/j.amsu.2022.103241.
- [15] K. Peterson et al., "Simulation training for lumbar puncture," *American Journal of Medicine*, 2024, doi: 10.1016/j.amjmed.2024.08.003.
- [16] A. Singh et al., "Experiential learning for diabetes management in mixed reality," *Sensors*, vol. 25, no. 4, 2025, doi: 10.3390/s25041017.
- [17] N. Lee and M. Brown, "The importance of instructional design and cognitive load evaluation in immersive learning," *Virtual Reality*, 2022, doi: 10.1007/s10055-022-00632-8.
- [18] T. Green et al., "Limitations of mixed reality in emergency training," *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, vol. 30, no. 10, 2019, doi: 10.1016/j.jvir.2019.09.020.
- [19] American Red Cross, *Focused Updates and Guidelines*, 2020.
- [20] G. Velasco et al., "Management of convulsions: Systematic review," *Revista Mexicana de Neurología*, 2020, doi: 10.15190/d.2020.7.
- [21] J. Martínez et al., "Convulsiones en el adulto: Guía clínica," *Revista de Neurología*, 2019, doi: 10.24875/rmn.m19000053.
- [22] S. López et al., "Clinical guidelines on hypoglycemia," *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2023, doi: 10.1210/clinem/dgac596.
- [23] American Diabetes Association, "Standards of medical care in diabetes—2023," *Diabetes Care*, 2023, doi: 10.2337/dc23-S006.
- [24] R. Sánchez et al., "Cognitive-behavioral approaches to panic attacks," *BMC Psychology*, 2022, doi: 10.1186/s40359-022-00843-3.