



Viabilidad del uso de un demo de un sistema de realidad virtual como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje de operación de la torreta 40/50 instalada en vehículos Asv*

Jaime Alberto Parra Plazas^a ■ Jairo Andrés Agudelo Calderón^b
■ Anny Astrid Espitia Cubillos^c

Resumen: el objetivo de este proyecto es determinar la viabilidad técnica, pedagógica y económica del uso de un sistema de realidad virtual como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje de operación de la torreta 40/50 instalada en vehículos Asv. Para ello, su desarrollo contempla la construcción de un demo (usando realidad virtual), su validación y el establecimiento de los beneficios derivados de su posible implementación para la capacitación de personal en el uso de plataformas de caballería. La viabilidad técnica y pedagógica se basó en el análisis de semejanza y similitud con una muestra reducida. Los resultados revelan que el demo satisface las condiciones básicas para su nivel de madurez tecnológica (TRL 3), y demuestran que es posible usar nuevas tecnologías para capacitación sobre el manejo de torretas y permite identificar puntualmente oportunidades de mejora para su implementación. El estudio incluye información sobre la viabilidad económica del demo, dada la reducción de costos frente a la formación tradicional con equipo real. A nivel pedagógico, el análisis de la literatura permite notar los beneficios del uso de la simulación en los procesos de enseñanza y aprendizaje en general. Adicionalmente, se identificaron los cursos en los que es posible usar simulación como estrategia de enseñanza inicial complementada con prácticas reales cuando se cuente con las competencias mínimas.

Palabras clave: capacitación; entrenamiento; realidad virtual; simulación; usabilidad; inmersión; viabilidad

Fecha de recepción: 18 de febrero de 2021

Fecha de aprobación: 10 de junio de 2021

* Artículo de investigación.

a Doctor en Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas y Escuela de Caballería del Ejército Nacional de Colombia.

Correo electrónico: jarrap@udistrital.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4992-5077>

b Profesional en Ciencias Militares. Escuela de Caballería del Ejército Nacional de Colombia.

Correo electrónico: jairo.agudelo@buzonejercito.mil.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6331-7190>

c Magister en Ingeniería. Docente de planta tiempo completo, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

Correo electrónico: anny.espitia@unimilitar.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4791-0250>

Disponível em linha: 3 de dezembro de 2021

Cómo citar: Parra Plazas, J. A., Agudelo Calderón, J. A., & Espitia Cubillos, A. A. (2021). Viabilidad del uso de un demo de un sistema de realidad virtual como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje de operación de la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV. *Academia y Virtualidad*, 14(2), 125-141. <https://doi.org/10.18359/ravi.5627>

Feasibility of Using a Demo of a Virtual Reality System as Part of the Teaching-Learning Process of Operation of the 40/50 Turret Installed in ASV Vehicles

Abstract: this project aims to determine the technical, pedagogical, and economic feasibility of using a virtual reality system as part of the teaching-learning process of operation of the turret 40/50 installed in ASV vehicles. Their development contemplates creating a demo (using virtual reality), its validation, and the establishment of benefits derived from a possible implementation to train staff in the use of cavalry platforms, and technical and pedagogical feasibility on the analysis of similarity with a small sample was used. The results revealed that the Demo satisfies the primary conditions for its level of technological maturity (TRL 3) and demonstrate that it is possible to use new technologies for training on turret handling, allowing to identify timely opportunities for improvement for its implementation. The study includes information on the economic viability of the Demo, given the cost reduction compared to traditional training with actual equipment. At the pedagogical level, the literature analysis allows us to note the benefits of using simulation in teaching and learning processes in general. Additionally, the courses in which it is possible to use simulation as an initial teaching strategy to include current practices were identified when minimum competencies are available.

Keywords: training; education; virtual reality; simulation; usability; immersion; feasibility

Viabilidade de usar a versão demo de um sistema de realidade virtual como parte do processo de ensino-aprendizagem de operação da torre 40/50 instalada em veículos ASV

Resumo: o objetivo deste projeto é determinar a viabilidade técnica, pedagógica e econômica do uso de um sistema de realidade virtual como parte do processo de ensino-aprendizagem de operação da torre 40/50 instalada em veículos ASV. Seu desenvolvimento envolve a construção de uma versão demo (usando realidade virtual), sua validação e o estabelecimento dos benefícios derivados de sua possível implementação para o treinamento de pessoal no uso de plataformas de cavalaria. A viabilidade técnica e pedagógica baseou-se na análise de similaridade e semelhança com uma amostra pequena. Os resultados revelam que o Demo satisfaz as condições básicas para seu nível de maturidade tecnológica (TRL 3), e demonstram que é possível usar novas tecnologias para treinamento de manuseio de torres e permite a identificação de oportunidades de melhoria na sua implementação. O estudo inclui informações sobre a viabilidade econômica da versão demo, dada a redução de custos em comparação com o treinamento tradicional com equipamentos reais. No nível pedagógico, a análise da literatura nos permite observar os benefícios do uso da simulação nos processos de ensino e aprendizagem em geral. Além disso, cursos em que a simulação pode ser usada como estratégia de educação infantil complementada por práticas reais foram identificados quando competências mínimas estão disponíveis.

Palavras-chave: capacitação; treinamento; realidade virtual; simulação; usabilidade; imersão; viabilidade

Introducción

La simulación integra varias ramas de la ingeniería para lograr especificaciones de apariencia y funcionalidad de un sistema real. Su uso en educación permite a los estudiantes tener un rol activo en el desarrollo de sus destrezas a través de la experiencia. El entrenamiento puede ejecutarse en este tipo de tecnologías, para proporcionar y evaluar las habilidades necesarias a desarrollarse en la vida real, con el fin de disminuir los costos y los tiempos que implican (Sizza, 2014). Esto hace posible entrenar a los profesionales militares en un entorno virtual donde pueden mejorar sus habilidades sin la necesidad de entrenar en un campo de batalla (García, *et al.*, 2021).

En el Ejército de Colombia existen escuelas militares responsables de la formación castrense a nivel general de soldados (Escuela Militar de Soldados Profesionales Pedro Pascasio Martínez Rojas), suboficiales (Escuela Militar de Suboficiales Sargento Inocencio Chinca) y oficiales (Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova). También se cuenta con Escuelas de capacitación responsables de los procesos de enseñanza y aprendizaje de conocimientos específicos en las diferentes áreas (armas y especialidades) de la fuerza militar. Adicionalmente, de manera periódica se llevan a cabo entrenamientos al personal a través de la brigada de instrucción y entrenamiento del Ejército y algunas escuelas de capacitación, su propósito es recordar, actualizar, mecanizar y fortalecer las capacidades adquiridas previamente para su adecuado desarrollo dentro de las operaciones militares. Al contrario de las capacitaciones, los entrenamientos no son centralizados, sino que se desarrollan a lo largo y ancho del territorio nacional a través de los batallones de instrucción y entrenamiento y de los comités móviles de entrenamiento de las escuelas de capacitación.

La simulación puede verse, entonces, como una alternativa o como un complemento para la formación de operadores de los equipos militares en la caballería. Al respecto, Manrique (2012) presenta el uso de la simulación como una salida tecnológica en las diferentes armas del ejército español en épocas en las que se exige más y con menos presupuesto. Posteriormente, Sizza (2014) ofrece una

visión sobre el uso de simuladores aeronáuticos para entrenamientos en la Fuerza Aérea Colombiana. Otro ejemplo de capacitación y de mejora en el desempeño es el presentado por Schmidt *et al.* (2018), donde la simulación es un aspecto importante para la toma de decisiones, por medio de la realidad aumentada, usando diversos mapas superpuestos que ayudan a determinar los resultados por parte del instructor. Hernández (2018) resalta el futuro prometedor de la simulación en el ejército colombiano, planteando las necesidades a cubrir en el corto y mediano plazo con la incorporación de tecnología. Straus *et al.* (2019) presentan distintas ópticas de la simulación en el entrenamiento del ejército, estudiando costos, tecnología y otros aspectos. Por su parte, *El Diario de Castilla y León* (2020) presenta los avances e importancia de los simuladores en el ejército español.

En este mismo sentido, desde sus orígenes, los videojuegos se convirtieron en la base para el desarrollo de estrategias de entrenamiento y simulación. Esta aplicación de los videojuegos ha evolucionado de la mano con el desarrollo tecnológico que permite a los potenciales usuarios participar inversivamente en los sistemas mediante el uso de gafas u otras estrategias para que tengan un rol más activo y reciban información como parte de su retroalimentación. Smith (2010) expone el uso de los juegos militares para entrenamiento, análisis de tácticas y propuesta de misiones mediante una recopilación histórica que muestra cómo resuelven la necesidad de reproducir posibles misiones que tienen la ventaja de poder repetirse cuantas veces sea necesario para corregir los errores. En este mismo sentido, Garay y Reyes (2012), en Colombia, presentan el uso de juegos de simulación, basados en situaciones reales, como una herramienta para adquirir destrezas para la toma de decisiones y a la vez dar cumplimiento al Derecho Internacional Humanitario.

Macedonia (2002) estudió las pruebas de vuelo de jóvenes, observando que las puntuaciones más altas correspondían a quienes habían usado previamente simuladores de vuelo, ya que tenían consolas de videojuegos u ordenadores con capacidad de correr videojuegos. También estudios realizados por Perea y de la Peña (2018) mostraron que los

jugadores de videojuegos comerciales tenían mayor atención, flexibilidad e interferencia cognitivas que los no jugadores; esto permite pensar que los videojuegos adaptados a simulación, que presenten mayor similitud a la realidad, son una herramienta útil en la capacitación del personal militar.

El proyecto que da origen al presente documento se basó en desarrollar un demo de un sistema de realidad virtual para el entrenamiento del personal operativo del subsistema de Caballería en el uso de la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV 4 x 4 (Command select y Command advanced) que posee el ejército de Colombia en diferentes grupos de caballería. Asimismo, busca establecer la viabilidad tanto tecnológica, como económica y pedagógica del desarrollo de un demo que permitirá a futuro la construcción de un simulador con apropiación de tecnología de realidad virtual disponible en el mercado, considerando la necesidad de contar con tecnología que permita mejorar la capacidad de entrenamiento de personal, reducir costos y que responda de manera adecuada a las condiciones particulares del territorio colombiano.

El desarrollo del proyecto busca determinar qué tan apropiado y viable es la implementación de la simulación en la formación del personal de la Escuela de Caballería (ES CAB) desde los puntos de vista técnico, económico y pedagógico.

Como meta se trazó el diseño, desarrollo e implementación de un demo de realidad virtual de la torreta 40/50 del ASV (en adelante VESTA 1) que permita replicar el sistema completo y sus controles, lo que contempla la construcción de un modelo de escala y las pruebas técnicas para evaluar la efectividad del demo del simulador en la capacitación, sumado al establecimiento de un comparativo entre el modelo de entrenamiento convencional y el uso del demo del simulador de realidad virtual. Y finalmente, incluye la formulación de indicadores económicos que permitan la caracterización de los costos de los dos métodos bajo estudio (tradicional y simulación con realidad virtual), para establecer si existen beneficios en términos de reducción de gastos de capacitación por el uso del demo de simulación de la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV.

El Ejército de Colombia está en la búsqueda permanente de nuevas tecnologías para el

entrenamiento del personal en el reconocimiento de equipos y plataformas que posee, evaluando la viabilidad de su aplicación en la formación de personal desde lo técnico, pedagógico y económico. La Escuela de Caballería no es ajena a esta posición, por ello desea evaluar la posibilidad de sustituir parte de su modelo de capacitación convencional con el uso de herramientas de simulación inmersiva para desarrollar mejores competencias en las habilidades del personal que opera la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV. En este sentido, se propuso como objetivo en este proyecto determinar la viabilidad técnica, económica y pedagógica del uso de un demo de un sistema de realidad virtual como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje de operación de dicha torreta. La problemática que se pretende resolver es la debilidad del personal para identificar y operar equipo militar específico y, de esta manera, reducir los gastos en los que se incurre en la actualidad por reparaciones derivadas del mal manejo de las personas en proceso de capacitación. Para ello, es necesario dentro de los resultados establecer el costo de implementar un sistema de simulación y los costos por reparaciones del equipo real que tienen posibles daños por mal uso y manejo. También se requiere calcular los costos y el número de horas de simulación que podrían ser implementadas en la formación del personal que ayudan al proceso de reconocimiento el equipo o plataformas de caballería antes del uso de la torreta 40/50 real.

Marco teórico

Como parte del desarrollo teórico se estableció una revisión sistemática de literatura para determinar y definir los modelos de tecnología de la realidad virtual en el campo militar y conocer el desarrollo de la simulación para el entrenamiento militar en diversos campos. Se consideraron únicamente publicaciones a partir del 2011, las cuales fueron consultadas en diferentes revistas en las siguientes bases de datos: Google Scholar, IEEE, Springer y Elsevier. Los criterios de búsqueda fueron: simulación, realidad virtual, sistemas inmersivos, entrenamiento, capacitación, formación, entrenamiento militar. A nivel de arquitectura de la simulación,

se observan muchas clases que van desde sencillos diseños de aprendizaje hasta el desarrollo de habilidades con simulaciones en red, desde modelos usando agentes hasta simulación basada en inteligencia artificial. Se destaca en el ámbito militar el desarrollo de modelos de mando para la toma de decisiones en batalla, lo que recobra importancia porque permite recrear ambientes y situaciones muy cercanas a la realidad con el propósito de evaluar desempeño y corregir errores en los mandos durante una operación. Algunos ejemplos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Documentos relacionados con tipos de arquitectura de simulación con realidad virtual

Año	Título	Autor(es)
2013	Advanced methods, modeling and applications in techniques, and simulation.	Amaral <i>et al.</i>
2013	A methodology for effectiveness analysis of future weapon system using a PLAF based simulation system.	Seung Keun Yoo y Jae Shin Lee
2013	A study on the requirements for designing agent-based computer generated force.	Yong-Jun <i>et al.</i>
2013	The analysis method of command and control measures of effectiveness (C2MOE).	SeungHun <i>et al.</i>
2013	Battlefield Data Quantization Method for War-Game Optimal Path Generation in Distributed Simulation	Hyunchang Oh y Jong Sik Lee
2013	Study of multi-agent based combat simulation for orientation of OODA loop.	Fusano <i>et al.</i>
2013	A mediate-based ABS framework in large-scale military analytic simulation.	Yang <i>et al.</i>
2016	Simulation Interoperability for operational hybrid environments.	Pullen y Khimeche
2016	Virtual reality applications for stress management training in the military.	Pallavicini <i>et al.</i>
2017	Modelling and simulation as a service and concept development and experimentation.	Prochazka y Hodick
2018	Developments in artificial intelligence – opportunities and challenges for military modeling and simulation.	Fawkes
2019	Collective simulation- based training in the US Army.	Straus <i>et al.</i>

Fuente: elaboración propia.

Estos documentos muestran la existencia de literatura que soporta el desarrollo para mejorar la capacidad de respuesta en modelos de simulación. Es posible simular otros requerimientos de entrenamiento para preparar el personal, con la gran ventaja de repetir las situaciones las veces necesarias con distintos horizontes de tiempo sin desgaste de personal y con menores costos.

La simulación se ha convertido en una herramienta de formación, por ejemplo, la revisión del estado del arte desarrollada por Pallavicini *et al.* (2016) demuestran lo importante que es en la formación militar. Un ejemplo práctico es el presentado por Kot y Novák (2018) donde se desarrolla un simulador usando realidad virtual para un robot de desminado. Por su parte, el trabajo desarrollado por Ahir *et al.* (2020) hace una recopilación de la aplicación de la realidad virtual en la mejora de la enseñanza, el entrenamiento militar y los deportes, mostrando las ventajas del uso de la simulación al permitir el análisis del desarrollo de las acciones dentro de los ejercicios de simulación, la identificación de los errores cometidos y la posibilidad de poder desarrollar la misma actividad repetidamente hasta lograr el éxito en el aprendizaje y mejorar las habilidades o destrezas que se buscan en el operador.

Espitia, *et al.* (2020), en su revisión de las innovaciones tecnológicas en las fuerzas militares del mundo, afirman que el entrenamiento de los soldados cuenta con avances tecnológicos que enriquecen su formación, como simuladores, que permiten prepararlos para enfrentar adecuadamente las misiones que les sean asignadas. Asimismo, señalan los avances de Lituania y el Ministerio Federal de Defensa de Alemania con un sistema móvil de elevación de objetivos para el entrenamiento en uso de tanques y equipos de fuego blindados, del Ejército de Bangladesh con su *software* de entrenamiento de simulación constructiva personalizado (SWORD) y su centro de juegos de guerra computarizados con puestos de mando de todos los niveles. De igual manera, puntualizan que Alemania, Bélgica, Bulgaria, Países Bajos, Polonia, República Checa, Arabia Saudita, Bangladesh, Egipto, Indonesia, Irak, Vietnam, Guinea y Sudáfrica reportan, en sus páginas web, avances en nuevas técnicas de juegos de guerra para desarrollar las capacidades de los soldados.

Bruck y Watters (2009) desarrollaron una metodología de evaluación para determinar síntomas físicos, psicológicos que pueden experimentar los usuarios de sistemas de realidad virtual por medio de una valoración basada en un cuestionario de enfermedad simulada conocido como ssq. De acuerdo con Bimberg, Weissker, y Kulik (2020), la evaluación del comportamiento psicológico y fisiológico de los operadores que se encuentran en capacitación se hace usando el cuestionario de enfermedad del simulador (ssq), el cual es necesario para determinar qué cambios se presentan en el comportamiento de los operadores. En su tesis doctoral, Stone III (2017) hace una revisión profunda sobre como evaluar las tecnologías virtuales usando la metodología ssq, como resultado determino la experiencia de la realidad virtual (rv) como muy entretenida. Sin embargo, “el ssq parece ser una herramienta de evaluación que debe ser revisada y modificada con el propósito de reforzar su validez de constructo” (Quintana, *et al.*, 2014).

Adicionalmente, Fernandez-Zumaquero (2010) diseñó métodos de evaluación para determinar la usabilidad de la relación persona ordenador. En este mismo sentido, la norma ISO/IEC 9241-11:2018 en su apartado 11 explica cómo interpretar la usabilidad en términos de rendimiento y satisfacción del usuario, enfatizando que depende de las circunstancias específicas en las que se utiliza un sistema, la guía puede aplicarse a sistemas de realidad virtual, realidad aumentada y sistemas ubicuos. Gómez (2018) presentó un esquema para definir los

procesos de evaluación de usabilidad y desarrolla una metodología para evaluar sistemas de realidad virtual que se constituye en la base para el proyecto y su evaluación, la cual se acoge junto con la norma iso 9241-11:2018. Esta evaluación de la usabilidad se basa en el desarrollo de entrevistas preliminares y posteriores con el personal objeto de estudio que experimentó directamente con el demo del simulador; también contempla contestar un cuestionario con varios ítems que evalúan las diferentes características del simulador para establecer un grado de realismo con respecto al equipo real. Mazmela *et al.* (2019) coinciden en usar la evaluación de usabilidad con la normativa que se ha desarrollado por la organización internacional de normalización iso mediante las siguientes normas iso 9241-11:2018 e iso 25010 2011, considerando los cambios y actualización de la norma iso 9241-11:2018. Finalmente, concluyen que es una metodología adecuada para evaluar la usabilidad de un *software* de simulación, lo que para efectos de la presente investigación se usará como medio para determinar la viabilidad pedagógica y técnica del demo.

Métodos

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto y cumplir todos los objetivos, se utilizó la metodología propuesta por Fishman (2001) que permite establecer estados de desarrollo y control para determinar los resultados alcanzados, junto con la estrategia, tal como lo describen Trigas *et al.* (2012) y se representa en la figura 1.

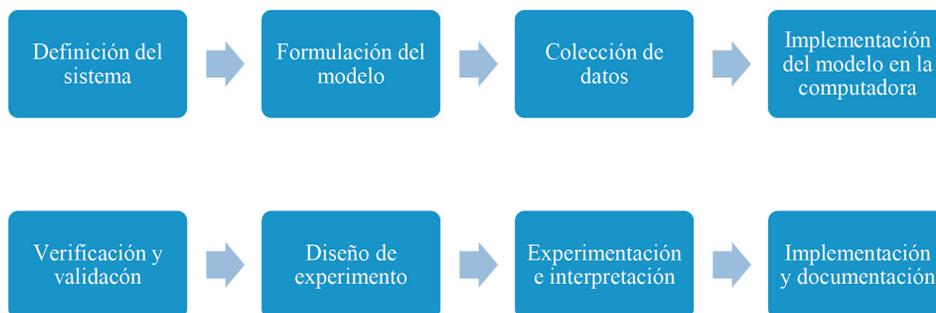


Figura 1. Pasos de la metodología.
Fuente: adaptado de Fishman (2001).

Las etapas consideradas se describen a continuación:

- 1) Definición del sistema: establecimiento del objeto de la simulación y los resultados esperados y la definición del sistema con base en las interacciones con el medioambiente que deben ser tenidas en cuenta.
- 2) Formulación del modelo: determinación de los aspectos relevantes del sistema real para llegar a una colección de datos de diversa naturaleza determinados por el objeto, el problema y el modelo.
- 3) Colección de datos: son los datos del lenguaje de computación, específico para simulación para la implementación del modelo.
- 4) Implementación del modelo en la computadora: hace referencia a la programación de los modelos con base en la información recopilada y seleccionada en las etapas anteriores.
- 5) Verificación y validación: revisión de errores que pasaron desapercibidos en el proceso de implementación y que permitirán realizar la validación del sistema. Luego se comprobará la exactitud del modelo desarrollado a través del estudio comparativo propuesto.
- 6) Diseño de experimento: se hace el diseño experimental para decidir las características de los experimentos teniendo en cuenta tiempos y número de simulaciones. Como consideraciones pedagógicas, se parte de las competencias del curso de operación y empleo de la torreta 40/50, donde se busca lograr la capacidad de respuesta, orientación y decisión para operar la torreta.
- 7) Experimentación e interpretación: posterior al diseño previo y sus características, se realizará una interpretación de los resultados obtenidos durante el experimento.
- 8) Implementación y documentación: con el respectivo acompañamiento de los tutores y personal encargado de la capacitación del vehículo y un grupo de estudiantes, se verificará la implementación del sistema para evitar errores humanos y finalmente se realizará la documentación técnica y manual de uso del demo del sistema de simulación. Esta documentación

incluye la evaluación técnica, económica y pedagógica en el contexto militar.

El desarrollo de las cuatro primeras etapas de la metodología conduce al diseño y montaje de un demo de un sistema de realidad virtual que utiliza tecnología disponible en el mercado, como modelo base de la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV. Estas etapas fueron desarrolladas por la empresa BRASH 3D.

Para las cuatro etapas finales se implementó la evaluación de usabilidad para juegos y simulación descrito por Hubal (2005), Fernandez-Zumaquero (2010), Gómez (2018), Fusell *et al.* (2019) y el estándar desarrollado por la ISO 9241-11:2018 que permite soportar el procedimiento de evaluación metodológica siguiendo estos parámetros y garantizando la validez de los resultados que se obtengan de la experimentación. La aplicación del instrumento de evaluación se hizo a una muestra reducida e independiente donde cada observación corresponde a un sujeto distinto. La viabilidad pedagógica se obtuvo de la revisión de la literatura y de los resultados de la evaluación de usabilidad. En la última etapa se incluyó la viabilidad económica del proyecto y se determinó el porcentaje de horas de simulación que podrían ser implementadas por la Escuela de Caballería en los diferentes cursos ofertados donde se podría usar. Este demo, al usar realidad virtual, se considera inmersivo, por lo que su modelo técnico pedagógico se basa en lograr en los estudiantes las competencias que requiere un operador de torreta, relacionadas con las siguientes habilidades: orientación, reconocimiento del área de trabajo o volumen del área donde están todos los accionamientos de la torreta y del armamento, la capacidad de determinar tiempos de reacción y de orientación bajo diversas condiciones que el instructor define en cada ejercicio y que deben conducir al perfeccionamiento y la reducción de errores de manejo y operación en la torreta real.

Resultados

El demo del sistema de simulación VESTA I está compuesto por unos dispositivos de realidad virtual, a saber: gafas, sensores de movimiento, el sistema de realidad virtual, trípodes, computador

completo marca DELL *alienware* Aurora R6; el demo constituye un desarrollo tecnológico de nivel de maduración TRL 3 (prueba experimental del concepto).

Para la creación de la interfaz visual de inmersión se usó el *software* UNITY plataforma de desarrollo Microsoft Windows (<https://unity.com/es>). Este demo de simulador fue elaborado (bajo contratación con el Ejército de Colombia) por la empresa BRASH 3D, responsable del diseño y desarrollo de todo el ambiente gráfico y programación de las funcionalidades operativas del demo del simulador de la torreta del ASV 40/50.

Para el desarrollo del simulador en versión demo de la torreta del ASV 40/50 VESTA I, se llevaron a cabo varias sesiones de fotografía y videos como punto de partida para que la empresa pudiese reproducir la torreta real usando el programa UNITY, que desarrolla el ambiente de inmersión de realidad virtual. También fue necesaria la adquisición del *hardware* requerido para la puesta en marcha del demo de la torreta.

Es importante señalar que la Escuela de Caballería desea sustituir parte de su proceso de enseñanza aprendizaje convencional con el uso de herramientas de simulación inmersiva. De esta manera, busca desarrollar mejores competencias en las habilidades del personal que opera la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV, y se espera que sirva en la parte introductoria para identificar y operar dicho equipo militar específico antes del uso de la torreta 40/50 real, la cual solamente se llevará a cabo una vez que se cuente con unas competencias mínimas establecidas en el curso y certificadas por el instructor, bajo la metodología de evaluación ya establecida donde cumpla tanto con los tiempos de respuesta y de orientación, como con la capacidad de manejo del área de trabajo de la torreta identificando los diferentes opciones de operación y de equipo instalado. La métrica de evaluación está definida de 0 a 50, que es una escala usual en la enseñanza; con ella se busca que el operador en formación obtenga un puntaje alto, luego este modelo de realidad virtual permite que haga repetición de las operaciones cuantas veces sea necesario hasta superar los posibles errores iniciales.

La experimentación se llevó a cabo de manera individual (no simultánea) con una muestra de

doce miembros del Ejército de diferentes grados (desde soldados hasta mayores) y niveles de formación académica (desde personal nuevo hasta expertos como instructores), que fueron usuarios del demo de simulador de torreta del ASV 40/50 de realidad virtual. Este proceso toma 30 minutos por persona, planeado de acuerdo con las recomendaciones de Dudley y Kristensson (2018), quienes señalan que el uso continuo de dispositivos de realidad virtual debe ser inferior a 30 minutos para evitar mareos o náuseas. Después usaron la torreta real, también durante 30 minutos. Para el desarrollo de cada prueba se contó, adicionalmente, con la presencia de un instructor especialista en el uso de torreta que impartía las órdenes para la realización de operaciones, de representantes de ciencia y tecnología de la ESCAB y de la empresa BRASH 3D. También se solicitó consentimiento informado firmado de cada uno de los participantes, antes de iniciar el proceso, del que podían desistir en cualquier momento. Tras el experimento, cada sujeto diligenció un cuestionario.

La prueba se aplicó durante el segundo semestre de 2020; no obstante, la muestra fue reducida debido a tres factores: de un lado, cada individuo requería entre 80 y 100 minutos para llevar a cabo el experimento completo que incluía la recepción de instrucciones, la lectura y firma del consentimiento informado, el uso del sistema VESTA I, el uso de la torreta real y el diligenciamiento de la encuesta; de otro lado, los requerimientos de distanciamiento social y demás condiciones de bioseguridad implementadas por la Escuela de Caballería, dada la situación derivada de la pandemia por el COVID-19, implicó una limitación importante para realizar pruebas autorizadas con mayor cantidad de personas que incluían procesos de desinfección tanto del personal como del sistema VESTA I y de la torreta real entre uso y uso; y, finalmente, la dificultad en la coordinación de las agendas entre los participantes de cada experimento (usuario, instructor, representantes de ciencia y tecnología, representantes de la empresa y suboficial responsable de garantizar el cumplimiento de los protocolos de bioseguridad).

Para el cálculo inicial de la muestra se usó un margen de error permitido del 5%, un nivel de

confianza de 95% y una población de 21 (cantidad de estudiantes en el curso de operadores de plataforma durante el segundo semestre de 2020); lo que condujo a un tamaño de muestra de veinte estudiantes. Dadas las dificultades explicadas,

únicamente fue posible llevar a cabo doce experimentos con doce personas, lo que hizo que, con el nivel de confianza esperado (95 %), el margen de error fuese del 18.98%. La figura 2 muestra algunas imágenes de la torreta 40/50 real:



Figura 2. Imágenes de la torreta 40/50 del ASV de entrenamiento en el centro de simulación del ESCAB.

Fuente: elaboración propia

Por su parte, la figura 3 muestra el montaje del demo del sistema de la torreta del ASV 40/50 desarrollado y el montaje de realidad virtual (VESTA 1) en funcionamiento.

Se resaltan experiencias exitosas previas sobre el uso de simuladores para entrenamiento, como los presentado por: Smith (2010), con el uso

de los juegos militares; Garay y Reyes (2012), en Colombia, como una herramienta para adquirir destrezas de toma de decisiones; Sizza (2014), en la Fuerza Aérea Colombiana; Schmidt *et al.* (2018), con un ejemplo de capacitación y mejora en el desempeño; Kot y Novák (2018), para un robot de desminado.



Figura 3. Sistema demo de realidad virtual de la torreta Asv 40/50 en funcionamiento durante los experimentos de prueba.

Fuente: elaboración propia

Con respecto a las ventajas de la simulación, como se mencionó, Macedonia (2002) analizó las pruebas de vuelo de jóvenes observando quiénes de los que habían usado simuladores de vuelo contaban con las puntuaciones más altas; por su parte, Pantelidis (2010) desarrolló 10 pasos para determinar cuándo usar realidad virtual en la enseñanza; Pallavicini *et al.* (2016) demuestran lo importante que resulta para la formación militar; también Perea y de la Peña (2018) mostraron que los jugadores de videojuegos comerciales tenían mayor atención, flexibilidad e interferencia cognitivas que los no jugadores; Espitia, Agudelo, y Buitrago (2020) aseguran los avances tecnológicos usados en el entrenamiento enriquecen la formación de los soldados.

En este sentido, Ahir *et al.* (2020) recopilaron aplicaciones de realidad virtual que lograron mejoras en la enseñanza, el entrenamiento militar y los deportes, y resaltaron como ventajas el análisis del desarrollo de las acciones, la identificación de los errores y la posibilidad de repetir la actividad hasta lograr el éxito mejorando habilidades o destrezas; todo ello permite afirmar que los simuladores son una herramienta útil en los procesos de enseñanza-aprendizaje del personal militar. Por tanto, son necesarios el esfuerzo a este nivel y la consideración de viabilidad pedagógica.

El proceso para la determinación de la viabilidad técnica del demo de simulador incluye los aspectos presentados en la figura 4.



Figura 4. Modelo de evaluación de usabilidad en entornos de realidad virtual.

Fuente: adaptado de Gómez (2018)

Algunos aspectos por evaluar de acuerdo con la metodología de usabilidad de la Norma ISO 9241-11:2018 son: utilidad, facilidad de uso, facilidad de aprendizaje, satisfacción, efectividad, eficiencia, contexto de uso y tiempo de uso. Estos aspectos contienen a su vez elementos que permiten valorar cómo los usuarios ven el demo del simulador de la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV usando realidad virtual desarrollado para la Escuela de Caballería.

Basados en las pautas de evaluación de usabilidad descritas por Hubal (2005), Fernandez-Zumaquero (2010), Gómez (2018), Fussell *et al.* (2019) y la norma ISO 9241-11:2018, como actividad previa a la experimentación se desarrolló y validó, mediante juicio de expertos, un cuestionario con los diferentes aspectos para valorar simultáneamente viabilidad pedagógica y técnica, el cual fue ajustado en términos de claridad en la redacción

de las preguntas de acuerdo con las recomendaciones recibidas.

La parte inicial del instrumento permite la identificación de los participantes señalando su nombre, grado militar, formación y fecha de aplicación del experimento. Luego se pide responder

31 preguntas tras la experiencia del uso del sistema VESTA I de realidad virtual y la torreta real usando una escala de valoración de 1 a 5. Las preguntas fueron agrupadas en los ocho factores de usabilidad propuestos por la Norma ISO 9241-11:2018 y se relacionaron con las temáticas presentadas en la tabla 2.

Tabla 2. Factores y temáticas consideradas en el instrumento de evaluación usado tras la experimentación

Viabilidad	Factor	Temática
Pedagógica	Utilidad	Identificación de los mandos de la torreta
		Ubicación espacial dentro del área de trabajo
		Facilidad de ubicación de los mandos
		Mejoras en los tiempos de ubicación de los mandos
	Facilidad de uso	Mejora en los tiempos de movimientos bajo órdenes de acción con los mandos
		Inconsistencia
		Posibilidad de uso sin instrucciones escritas
		Simplicidad de la interfaz gráfica
	Facilidad de aprendizaje	Facilidad de orientación en el ambiente virtual
		Rapidez en el aprendizaje
		Facilidad para recordar modo de uso
		Tiempo para familiarizarse con el entorno
	Satisfacción	Semejanza del ambiente virtual al real
		Contribución a la ejecución de operaciones bajo órdenes
		Sensación de confinamiento (real/virtual)
		Rotaciones realistas (real/virtual)
Efectividad	Creencia de transferencia de lo aprendido en el simulador a la realidad	
	Realismo de la experiencia	
	Utilidad del VESTA I	
Técnica	Eficiencia	Futuro del VESTA I
		Tiempo de uso del VESTA I
		Controles ergonómicos
	Contexto de uso	Confianza de los controles
		Comodidad
		Ergonomía (real/virtual)
		Calidad del equipo hardware
		Calidad del ambiente virtual
	Tiempo	Cansancio visual (real/virtual)
		Cansancio físico (real/virtual)
		Tiempo en la torreta real adecuado (30 minutos)
		Tiempo en el VESTA I adecuado (30 minutos)

Fuente: elaboración propia.

Los primeros tres factores (utilidad, facilidad de uso y facilidad de aprendizaje) incluyen doce preguntas que permiten determinar la viabilidad pedagógica del demo y los cinco factores restantes (satisfacción, efectividad, eficiencia, contexto de uso y tiempo de uso) agrupan 19 preguntas para valorar su viabilidad técnica.

El resultado de las calificaciones de los factores se calculó como el promedio de las valoraciones obtenidas en cada una de las temáticas correspondientes incluidas en el cuestionario sobre

usabilidad aplicado a una muestra de 12 usuarios, con diferentes niveles de formación y de rango militar. La gráfica se presenta en la figura 5, las barras verdes muestran los factores relacionados con la viabilidad pedagógica y las azules con la viabilidad técnica. De los resultados, para la futura construcción del simulador es necesario mejorar a nivel pedagógico en el factor facilidad de aprendizaje y, a nivel técnico, en los aspectos relacionados con satisfacción del usuario, contexto de uso y eficiencia.

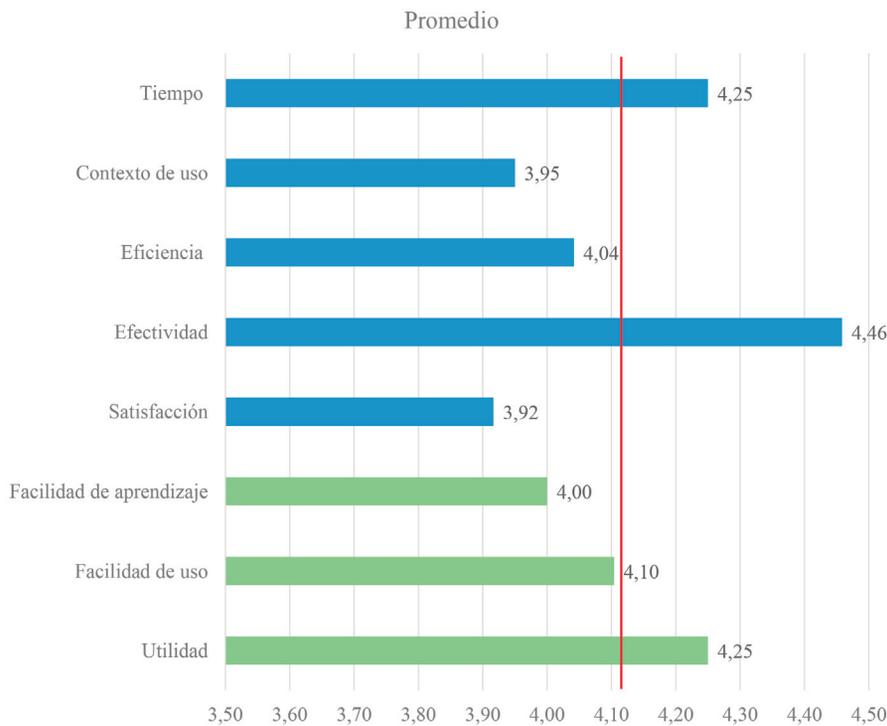


Figura 5. Resultados promedios del cuestionario de usabilidad.

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, en los comentarios, los usuarios del demo indicaron que su uso ayuda a mejorar el temor al inicio del curso, ya que, al ser un simulador, tiene la ventaja de no tener implicaciones en la torreta al cometer un error. De forma análoga, otros simuladores de tanques, aviación e inclusive de capacitación de tiro demuestran que es una herramienta donde el operador se relaciona con el equipo, crea un ambiente más amigable y se acopla con lo que está practicando, casos

presentados en EXPODEFENSA (2015) con la recreación de escenarios de trabajo reales. Finalmente, la evaluación para determinar la viabilidad económica contempló, por una parte, el uso de valores de referencia por entrenamiento para estimar los costos actuales en los que se incurre que incluyen reparaciones causadas por mal manejo, mantenimiento, combustible y munición. El cálculo se hizo para cada una de las etapas contempladas, a saber: calibración de ametralladora .50, familiarización

con ametralladora MK-19, ejercicios de reacción para ametralladoras .50 y MK-19.

En segundo lugar, se proyectaron tanto las inversiones requeridas como los costos de entrenamiento, asumiendo que, de acuerdo con la opinión de expertos, todas las etapas se pueden desarrollar en un 50 % mediante un entorno de simulación inmersivo con un prototipo con un nivel de maduración tecnológica correspondiente a mínimo TRL 4 (validación de componente o disposición de los mismos en entorno de laboratorio) que permitirá contar con ambientes virtuales mucho más realistas que los del demo actual para, capacitar y reencontrar personal en la operación de la torreta 40/50 de los vehículos ASV.

En la tercera parte de la evaluación económica se calcularon los ahorros que podrían obtenerse para estimar el tiempo requerido para recuperar la inversión.

Discusión

Como se señaló inicialmente, la situación problemática al interior de la Escuela de Caballería dio lugar al desarrollo de simuladores para llevar a cabo la introducción de los nuevos operadores en el uso de las plataformas que hacen parte de la operación diaria de las patrullas propias de caballería. Esto implica hacer buen uso y manejo de los equipos, por ello, se busca determinar los costos operativos en los que se viene incurriendo en el entrenamiento tradicional y compararlos con los costos calculados de implementación de un sistema de simulación para evitar los daños en los equipos por fallas de operación e impericia del personal sin capacitación en dicha temática. Lo anterior está basado en el marco de la línea de investigación simulación aplicada a la caballería.

En general, los resultados obtenidos permiten señalar el desarrollo del demo del simulador de la torreta del ASV 40/50 tiene funcionalidades que son adecuadas para su nivel de madurez tecnológica (TRL 3) y realistas al compararlas con las de la torreta real que se tiene en el centro de simulación del ESCAB.

Los factores asociados con la viabilidad pedagógica del demo (utilidad, facilidad de uso y facilidad

de aprendizaje) tuvieron una calificación individual igual o superior 4,0/5,0 y un promedio de 4,117/5,0, que equivale a un grado de aceptación del 82,33 %. Respecto a la utilidad con un valor de 4,25/5,0, se encuentra que el operador puede identificar los mandos de la torreta, la ubicación espacial dentro del simulador es similar a la de la torreta real, el uso de los mandos es fácil de activar igual al real, se mejoran los tiempos de respuesta para encontrar los dispositivos y sus mandos, y ayuda a responder con prontitud cuando se encuentra bajo órdenes de operación y disparo de las armas con las que cuenta la torreta. Un aspecto con valoración similar al promedio de todos los factores (que se encuentra representado por la línea roja en la figura 5) es la facilidad de uso con una nota de 4,1/5,0. Esto lleva a señalar que el demo de simulación, pese a ser una versión inicial, es avanzado para su nivel de madurez tecnológica (TRL 3), y logra reproducir la apariencia de la torreta real y su operación. Por debajo del promedio, se tiene la facilidad de aprendizaje inicial del demo del simulador, con un valor de 4,0/5,0, ya que se incluyó en la muestra personal que jamás ha tenido contacto con algún dispositivo de realidad virtual, lo cual es algo completamente nuevo en su experiencia de inmersión. De ahí que mostraran algo de miedo y desorientación al principio, pero con el uso mejora la percepción del sistema. Cabe anotar que algunas funciones no están activas y otras no responden con rapidez.

Los factores asociados con la viabilidad técnica del demo (satisfacción, efectividad, eficiencia, contexto de uso y tiempo de uso) obtuvieron calificaciones individuales iguales o superiores a 3,92/5,0 y un promedio de 4,124/5,0, que corresponde a un grado de aceptación del 82,48 %. Los resultados promedios permiten ver que la efectividad tiene la mayor valoración correspondiente a 4,46/5,0. Tal efectividad se basa en determinar si el usuario ha aprendido el realismo, la utilidad y futuro del demo de simulador, lo cual muestra un alto grado de aceptación por parte del personal que conformó la muestra. Con respecto al tiempo de entrenamiento, tanto en la torreta real y como en el demo del simulador, se trabajó 30 minutos bajo condiciones de órdenes enfocadas a orientación y uso de armas;

la receptividad del operador obtuvo una valoración promedio de 4,25/5,0, lo que indica que el tiempo de reconocimiento y trabajo está acorde con el tiempo recomendado para iniciar una capacitación de personal. El factor técnico más cercano al promedio general (por debajo) es eficiencia con un valor 4,05/5,0, dada la presencia de algunos errores del demo que evitan operarlo en su totalidad. El contexto de uso obtuvo un promedio de 3,95/5,0, esto se debe a que no se tienen programadas, no están activas o no responden todas las funcionalidades de la torreta. Por debajo de ese nivel, se encuentra satisfacción 3,92/5,0, dado que no todas las funciones están en pleno funcionamiento, lo que se encontró afectó esta variable.

Por lo anterior, los factores con una valoración inferior al promedio general se constituyen en las oportunidades de mejora para VESTA I, es decir, que para la construcción futura del simulador se requiere mejorar (en su orden) a nivel técnico en los factores: satisfacción del usuario, contexto de uso y eficiencia y, a nivel pedagógico, en el factor facilidad de aprendizaje.

Desde la experiencia de esta versión demo del simulador de la ESCAB, tras consultar las referencias del estado del arte, existen grandes oportunidades para continuar el proyecto en una segunda fase que tenga como resultado el diseño e implementación de una versión completa de un simulador, con el objeto de mejorar el entrenamiento del personal, ya que es una estrategia que además de lograr la reducción de costos, permite repetir el entrenamiento de forma infinita, identificar los errores, evaluar la mejora del operador, evaluar constantemente al personal y determinar el momento oportuno para dar inicio al entrenamiento en la torreta real cuando el usuario cumpla ciertos mínimos de habilidad. También muchos países del mundo cuentan con desarrollos en este sentido, lo cual se puede corroborar por las publicaciones que se encuentran en las estadísticas Scimago. Al respecto, ejércitos como el de Estados Unidos (y la misma NASA), de Europa y de países como China, Corea y Japón están trabajando en la misma dirección.

Como resultado de la evaluación económica, se estimaron los ahorros obtenidos del desarrollo e implementación de un sistema de simulación

inmersivo para capacitación en la operación de la torreta 40/50 de los vehículo ASV con un nivel de maduración tecnológica TRL 4 (validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio) y la cantidad de tiempo requerido para recuperar la inversión. Como conclusión, el proyecto resulta muy atractivo a nivel monetario y permitirá dar otro destino a los recursos ahorrados. Resultados similares a los reportados por Blazauskas y Gudoniene (2020) presentan los costos y las ventajas de la simulación con realidad virtual y realidad aumentada en la educación. Otros resultados para comparar son los de Pantelidis (2010) con su proceso para determinar cuándo es conveniente usar realidad virtual en la enseñanza, que demuestran que es adecuado el uso del demo de la torreta 40/50 en el curso de capacitación. Como elemento adicional, está la publicación de Yahupov *et al.* (2020) quienes desarrollaron un modelo de competencias en comunicación de instructores militares con modelos de enseñanza a distancia donde explica la relación entre doctrina, metodología y evaluación.

También se logró establecer cuáles cursos de formación, en su parte introductoria, pueden basarse en la simulación inmersiva usando realidad virtual, considerando las inversiones llevadas a cabo por la institución para la adquisición del *hardware* (gafas de realidad virtual, sensores de movimiento, trípodes, computador completo marca DELL *alienware* Aurora R6) que conforma el demo del sistema de realidad virtual obtenido. Directamente VESTA I soporta los saberes del Curso de operadores de plataformas y del Curso de operación de armamento de caballería que se ofertará a partir del segundo semestre del año 2021, y complementa los saberes del Curso TAB (táctica aplicada a blindados) y sirve, a modo de ejemplo, en los cursos de ley, que son requisito de ascenso entre los grados militares, donde se incluye el saber de simulación para suboficiales (Especialización del arma para dragoneantes, Curso CAPINTE -capacitación intermedia- y CAPAVAN -capacitación avanzada-) y Oficiales (Especialización del arma para cadetes, Especialización del arma para oficiales, curso intermedio y curso comando).

Como alcance del proyecto e importancia para la ESCAB, se tiene la necesidad de lograr su desarrollo completo y de establecer una política para crear diferentes simuladores para el entrenamiento en diferentes vehículos y poder llegar a desarrollar una integración de dichos simuladores. Todo ello puede perfeccionar el desempeño, reducir los costos operativos de formación básica y, lo más importante, mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, y fortalecer la línea de investigación de simulación, aplicada a la caballería del grupo de investigación ТНОТ.

A modo de resultado de la experimentación y de los datos recopilados, se encuentra que el demo del simulador tiene gran aceptación entre los operadores en formación, lo que constituye una opción válida como investigación futura llevar el proyecto a otras fases para completar el sistema de inmersión para capacitación usando realidad virtual en diferentes campos de capacitación en la Escuela de Caballería.

Otra investigación futura que se propone consiste en integrar el sistema de simulación con la torreta real para el entrenamiento completo de los operadores y, finalmente, desarrollar un simulador completo del vehículo ASV con un estado de maduración tecnológica TRL 4 (validación de componente o disposición de los mismos en entorno de laboratorio) con sus respectivas pruebas de adaptación e inmersión a la tecnología de realidad virtual a nivel de usabilidad y efectos del simulador a nivel médico y psicológico; lo que podría ampliarse a las demás plataformas de caballería que podrían usarse en el Curso de operador de plataformas y la Especialización del arma para suboficiales (comandantes de vehículos y de escuadra y sección). También se requiere la actualización del sistema de simulación para el empleo táctico de vehículos para el Curso TAB. Finalmente, contar simuladores móviles sería útil para el reentrenamiento de los operadores actuales en las distintas unidades de caballería del país.

Conclusiones

Como resultado de los datos y de la discusión, se ha respondido al propósito inicial del proyecto de

contar con una versión demo de un simulador de inmersión usando realidad virtual para la capacitación del personal de la Escuela de Caballería que corresponde a una torreta 40/50 instalada en vehículos ASV, con el fin de establecer un proceso más completo de enseñanza-aprendizaje para la capacitación que integra el uso de recursos tecnológicos de vanguardia.

Se logró ver que el uso de un demo de un sistema de realidad virtual como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje de operación de la torreta 40/50 instalada en vehículos ASV cuenta con viabilidad, tanto a nivel tecnológico, como económico y pedagógico, para implementar un plan de desarrollo de simuladores en diferentes equipos.

Por ello, se propone como investigaciones futuras: desarrollar el simulador completo del vehículo ASV con un estado de maduración tecnológica TRL 4 (validación de componente o disposición de los mismos en entorno de laboratorio), con el fin de mejorar los aspectos relacionados con facilidad de aprendizaje, satisfacción del usuario, contexto de uso y eficiencia; completar el sistema de inmersión para capacitación usando realidad virtual en diferentes campos de formación en la Escuela de Caballería; crear simuladores para el entrenamiento en otros vehículos; integrar dichos simuladores (tanto fijos como móviles). Todo lo anterior pretende mejorar el desempeño, reducir los costos operativos de formación básica y, lo más importante, mejorar de los procesos de enseñanza-aprendizaje de capacitación y entrenamiento.

La principal limitación del estudio es la relacionada con el tamaño reducido de la muestra por tres factores: en primer lugar, el tiempo total requerido por cada individuo para llevar a cabo el experimento completo (entre 80 y 100 minutos); en segundo lugar, las condiciones de bioseguridad implementadas por la Escuela de Caballería, dada la situación de la pandemia por el COVID-19; en tercer lugar, la dificultad en la coordinación de las agendas entre actores (usuario, instructor, representantes de ciencia y tecnología, representantes de la empresa y suboficial responsable de garantizar el cumplimiento de los protocolos de bioseguridad). Por ello, se recomienda en las investigaciones futuras contar con una población completa.

Referencias

- Acevedo, C. (2011). Tecnología y simulación: herramienta de decisión en el marco de un conflicto armado. *Revista Científica General José María Córdova*, 9(9), 97-116. <https://doi.org/10.21830/19006586.247>
- Ahir, K., Govani, K., Gajera, R., y Shah, M. (2020). Application on Virtual Reality for Enhanced Education Learning, Military Training and Sports. *Augmented Human Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s41133-019-0025-2>
- Amaral, G., Bushee, J., Cordani, U. Kawashita, K., Reynolds, J., Almeida, F., ... Junho, M. do C. B. (2013). Advanced Methods, Modeling and Applications in Techniques, and Simulation. *Proceedings in Information and Communications Technology*, 369(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bimberg, P., Weissker, T., y Kulik, A. (2020). On the Usage of the Simulator Sickness Questionnaire for Virtual Reality Research. *Proceedings, 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 2020*, 464–467. <https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00098>
- Blazauskas, T., y Gudoniene, D. (2020). Virtual reality and augmented reality in educational programs. *New Perspectives on Virtual and Augmented Reality*, 82–94. <https://doi.org/10.4324/9781003001874-6>
- Bruck, S., y Watters, P. A. (2009). Estimating cybersickness of simulated motion using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): A controlled study. *Proceedings of the 2009 6th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization: New Advances and Trends, 2009*, 486–488. <https://doi.org/10.1109/CGIV.2009.83>
- Cha, S., Lee, D., Na, J., Cho, B., Jin, J., Ryu, D. y Kim, H. (2012). The analysis method of command and control measures of effectiveness (C2MOE). En J. H. Kim et al., (Eds.), *Advanced Methods, Techniques, and Applications in Modeling and Simulation* (pp. 394-402). Springer Japan. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54216-2_43
- Diario de Castilla y Leon* (2020). Simuladores militares de vanguardia. <https://diariodecastillayleon.elmundo.es/articulo/innovadores/simuladores-militares-vanguardia/20200225182315003531.htm>
- Dudley, J., y Kristensson, P. (2018). A review of user interface design for interactive machine learning. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 8(2), 1-37. <https://doi.org/10.1145/3185517>
- Espitia, A., Agudelo, J., y Buitrago, Ó. (2020). Innovaciones tecnológicas en las fuerzas militares de los países del mundo: una revisión preliminar. *Revista Científica General José María Córdova*, 18(29), 213-235. <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.537>
- Fawkes, A. (2017). Developments in Artificial Intelligence – Opportunities and Challenges for Military Modeling and Simulation. *Proceedings of the 2017 NATO MyS Symposium*, 1–12.
- Fernandez-Zumaquero, S. (2010). Métodos de evaluación de la usabilidad para entornos de Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Sistemas Ubícuos. <http://cicdecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro39/Usabilidad.pdf>
- Fishman, G. (2001). *Discrete-Event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis*. Springer.
- Fusano, A., Sato, H., y Namatame, A. (2013). Study of Multi-agent Based Combat Simulation for Orientation of OODA Loop. En J. H. Kim et al. (Eds.), *Advanced Methods, Techniques, and Applications in Modeling and Simulation* (pp. 432-440). Springer.
- Fussell, S., Derby, J., Smith, J., Shelstad, W., Benedict, J., Chaparro, B., ... Dattel, A. (2019). Usability Testing of a Virtual Reality Tutorial. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 2303–2307. <https://doi.org/10.1177/1071181319631494>
- Garay, C., y Reyes, D. (2012). Juegos de simulación como método de defensa en la guerra. *Revista Científica General José María Córdova*, 10(10), 237-255.
- García, C., Mosquera, O., Guzmán, D., Zamudio, J., y García, J. (2021). Análisis de necesidades e implementación de tecnología de realidad virtual para entrenamiento y educación militar en Colombia. *Revista Logos Ciencia y Tecnología*, 13(1), 8-18. <https://doi.org/10.22335/rclt.v13i1.1271>
- Gómez, M. (2018, 22 de enero). Test de usabilidad en entornos de realidad virtual. No solo usabilidad. Recuperado de: http://www.nosolousabilidad.com/articulos/test_usabilidad_realidad_virtual.htm
- Hernández, D. (2018). El Ejército de Colombia, actualidad y perspectivas. *Air y Space Power Journal*, 30(2), 19–32.
- Hubal, R. (2005). Design and usability of military maintenance skills simulation training systems. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2110–2114. <https://doi.org/10.1177/154193120504902409>
- ISO/IEC 9241-11:2018 (2018). Ergonomics of human-system interaction - Part 11: Usability: Definitions and concepts. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
- Kot, T. y Novák, P. (2018). Application of virtual reality in teleoperation of the military mobile robotic system TAROS. *International Journal of*

- Advanced Robotic Systems*, 15(1), 1–6. <https://doi.org/10.1177/1729881417751545>
- Macedonia, M. (2002, agosto). Games, simulation, and the military education dilemma. *Internet and the University: 2001 Forum*, 157–167.
- Manrique, J. (2012). Simulación: la realidad, más barata. *Revista Española de Defensa*, 25(283), 6.
- Mazmela, M., Lasa, G., Aranburu, E., Tomás, P. y Anaya, M. (2019). User Evaluation Of Task Execution At Industrial Interfaces Using Use Questionnaire. *International Congress on Project Management and Engineering*. Málaga, 29 de julio. 1584–1594. Recuperado de http://dSPACE.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/2408/AT10-001_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Oh, H. y Lee, J.S. (2013). Battlefield Data Quantization Method for War-Game Optimal Path Generation in Distributed Simulation. *Proceedings in Information and Communications Technology*, 369(1), 1689–1699.
- Pallavicini, F., Argenton, L., Toniuzzi, N., Aceti, L. y Mantovani, F. (2016). Virtual reality applications for stress management training in the military. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(12), 1021–1030. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4596.2016>
- Pantelidis, V. (2010). Reasons to use virtual reality in education and training courses and a model to determine when to use virtual reality. *Themes in Science and Technology Education*, 2(1–2), 59–70.
- Perea, M. y de la Peña, C. (2018). Influencia de los videojuegos comerciales en procesos neuropsicológicos en estudiantes universitarios. *ReiDoCrea*, 7(5), 55–62.
- Prochazka, D. y Hodicky, J. (2017). Modelling and simulation as a service and concept development and experimentation. *ICMT 2017 - 6th International Conference on Military Technologies*, 721–727. <https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2017.7988851>
- Pullen, J., Patel, B. y Khimeche, L. (2016). C2-simulation interoperability for operational hybrid environments. *NATO Modelling and Simulation Symposium*.
- Quintana, P., Bouchard, S., Serrano, B. y Cárdenas-López, G. (2014). Efectos secundarios negativos de la inmersión con realidad virtual en poblaciones clínicas que padecen ansiedad. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, 19(3), 197–207. <https://doi.org/10.5944/rppc.vol.19.num.3.2014.13901>
- Seung Keun Yoo, Jae Shin Lee y D.-K. B. (2013). A Methodology for Effectiveness Analysis of Future Weapon System Using a PLAF Based Simulation System. *Journal of Petrology*, 369(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sizza, J. (2014). Simuladores para entrenamientos en la Fuerza Aérea Colombiana. *Ciencia y Poder Aéreo*, 9(1), 135–141. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.142>
- Smith, R. (2010). The long history of gaming in military training. *Simulation and Gaming*, 41(1), 6–19. <https://doi.org/10.1177/1046878109334330>
- Schmidt, R., Lee, T., Winstein, C., Wulf, G. y Zelaznik, H. (2018). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human kinetics.
- Stone III, W. (2017). Psychometric evaluation of the simulator sickness questionnaire as a measure of cybersickness. *Graduate Theses and Dissertations*. <https://doi.org/10.31274/etd-180810-5050>
- Straus, S., Lewis, M., Connor, K., Eden, R., Boyer, M., Marler, T., ... Smigowski, H. (2019). Collective Simulation- Based Training in the U.S. Army (Rand Corporation, Ed.). Retrieved from www.rand.org/t/RR2250%0ALibrary
- Trigas, M. y Domingo, A. (2012). Gestión de proyectos informáticos. Metodología Scrum. Openaccess.Uoc. Edu, 56. Recuperado de <http://www.quimbiotec.gob.ve/sistem/auditoria/pdf/ciudadano/mtrigasTFC-0612memoria.pdf%5Cnhttp://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/17885/1/mtrigasTFC-0612memoria.pdf>
- Yahupov, V., Kyva, V. y Zaselskiy, V. (2020). The methodology of development of information and communication competence in teachers of the military education system applying the distance form of learning. *CEUR Workshop Proceedings*, 2643, 71–81. [https://doi.org/10.31339/2617-0833-2019-2\(27\)-98-107](https://doi.org/10.31339/2617-0833-2019-2(27)-98-107)
- Yang, M., Zhou, Y., Yang, S., Yang, Z. y Huang, K. Di. (2013). A mediate-based ABS framework in large-scale military analytic simulation. *Communications in Computer and Information Science*, 402(7), 340–347. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45037-2_32
- You, Y. J., Lee, J. S., Chi, S. D. y Kim, J. I. (2012). A study on the requirements for designing agent-based computer generated force. En J. H. Kim et al. (Eds.), *Advanced Methods, Techniques, and Applications in Modeling and Simulation* (pp. 425 -431). Springer Japan. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54216-2_46

