



Proyecto de elaboración de simulador de entrenamiento y practicas con fuego real para los bomberos aeronáuticos de la dirección general de aviación civil del ecuador.

Project for the development of a real fire training and practice simulator for the aeronautical firefighters of the General Directorate of Civil Aviation of Ecuador.

Alex Santiago Parra Morales¹ 

asparra@itsoriente.edu.ec.

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Daniela Fernanda Vásconez Duchicela³ 

danielavasconez@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Recepción: 05-01-2026

Aceptación: 09-02-2026

Publicación: 30-03-2026

Como citar este artículo: Parra, A. Quito, B. Vásconez, D. (2026). **Proyecto de elaboración de simulador de entrenamiento y practicas con fuego real para los bomberos aeronáuticos de la dirección general de aviación civil del ecuador.** *Metrópolis*. Revista de Estudios Globales Universitarios, 7 (1), pp. 2512-2560.

¹ Tecnólogo Superior en Administración Sistemas de Gestión de Calidad, Tecnólogo Superior Universitario en Calidad y Productividad, Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO); Bombero Profesional especialista en Combate de Incendios Estructurales, Aeronáuticos y Prevención de Incendios e instructor en ámbitos Bomberiles y Seguridad en el Trabajo.

² Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

³ Ingeniera Mecánica mención Automotriz (Universidad Tecnológica América), Magister en Talento Humano (Universidad Internacional SEK), Magister en Administración de Empresas (Universidad Internacional del Ecuador), Doctor en Ciencias de la Educación PHD por la Universidad Bicentenario de Aragua, Venezuela.





Resumen

El presente artículo académico analizó el diseño, desarrollo e implementación de un simulador de entrenamiento con fuego real destinado a fortalecer las competencias técnicas, cognitivas y operativas de los bomberos aeronáuticos de la DGAC. Este artículo surgió ante la necesidad institucional de optimizar la preparación del personal frente a emergencias aeroportuarias, garantizando los altos niveles de seguridad operacional, eficiencia en la respuesta e integración de estándares internacionales establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional. La investigación se sustentó en una revisión teórica y documental de literatura científica actual relacionada con simulación, entrenamiento táctico, ergonomía, gestión del riesgo y formación con escenarios controlados de fuego real, complementada con un enfoque metodológico descriptivo, aplicado y comparativo entre diferentes modelos de instrucción utilizados en aeropuertos de referencia a nivel mundial. El simulador propuesto se concibió como una herramienta pedagógica avanzada capaz de reproducir condiciones reales de incendio, reducir riesgos durante el proceso formativo, mejorar los tiempos de respuesta, fortalecer la toma de decisiones y potenciar las habilidades operativas en situaciones de alta presión. Los resultados obtenidos evidenciaron la relevancia del uso de simuladores como medios tecnológicos que articularon seguridad, aprendizaje activo y gestión sistemática del conocimiento operativo. Se concluyó que la implementación del proyecto representó un avance técnico y estratégico de gran importancia para la DGAC, al consolidar la cultura preventiva, profesionalizar la formación del personal, optimizar recursos institucionales y contribuir significativamente a la mejora continua del sistema de gestión de seguridad operacional en los aeropuertos ecuatorianos mediante prácticas modernas y eficientes. **Palabras claves:** Simuladores aeronáuticos, Fuego real, Bomberos aeroportuarios, Entrenamiento operativo, Seguridad operacional.

Abstract

This academic article analyzed the design, development, and implementation of a real fire training simulator intended to strengthen the technical, cognitive, and operational competencies of DGAC aeronautical firefighters. The article emerged from an institutional need to optimize personnel preparedness for airport emergencies, ensuring high levels of operational safety, response efficiency, and integration of international standards established by the International Civil Aviation Organization. The research was based on a theoretical and documentary review of current scientific literature related to simulation, tactical training, ergonomics, risk management, and training with controlled real fire scenarios, complemented by a descriptive, applied, and comparative methodological approach among different instructional models used in benchmark airports worldwide. The proposed simulator was conceived as an advanced pedagogical tool capable of reproducing real fire conditions, reducing risks during the training process, improving response times, strengthening decision making, and enhancing operational skills in high pressure situations. The results obtained demonstrated the relevance of using simulators as technological means that articulated safety, active learning, and systematic management of operational knowledge. It was concluded that the implementation of the project represented a technical and strategic advancement of great importance for the DGAC, by consolidating preventive culture, professionalizing personnel training, optimizing institutional resources, and significantly contributing to the continuous improvement of the operational safety management system in Ecuadorian airports





through modern and efficient practices. These findings also suggest long term benefits for organizational resilience, interagency coordination, knowledge transfer processes, and the sustainable alignment of training programs with evolving operational demands and regulatory requirements internationally. **Keywords:** Aviation simulators, Live fire, Airport firefighters, Operational training, Operational safety.

Introducción.

El entrenamiento de los bomberos aeronáuticos es crucial para la seguridad operativa en los aeropuertos. Esto se debe a que los incendios en aeronaves demandan una respuesta rápida, coordinada y precisa. Aunque las prácticas de entrenamiento tradicionales son efectivas, tienen limitaciones significativas en términos de frecuencia, coste y seguridad, especialmente cuando se utilizan ejercicios con fuego real sin el control tecnológico adecuado. De acuerdo con Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, 2023), la creación de simuladores de entrenamiento específicos para incendios aeronáuticos se presenta como una solución viable. Estos simuladores permiten replicar situaciones de riesgo real de forma segura y cumplen con los estándares internacionales de seguridad.

En respuesta a la necesidad de mejorar la preparación de los bomberos aeronáuticos de la Dirección General de Aviación Civil ,DGAC, en Ecuador, se ha propuesto un proyecto para crear un simulador de entrenamiento con fuego real. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2018), señala que la importancia de que estos profesionales estén debidamente capacitados con ejercicios que reflejen la realidad de un accidente aéreo.

De acuerdo con Eglin et al., (2022), aunque muchos aeropuertos en Latinoamérica aún se basan en prácticas teóricas, lo que limita la experiencia de los bomberos, diversos estudios sugieren que el





entrenamiento con fuego real, cuando se realiza con los protocolos adecuados, mejora significativamente la capacidad del personal para tomar decisiones, comunicarse eficazmente y resistir físicamente. Según Wheeler et al., (2021), el uso de herramientas de realidad virtual y simulación digital permite a los bomberos prepararse de antemano y minimizar los errores en la práctica real, en otras palabras, al combinar estas dos modalidades de entrenamiento, se puede lograr un personal más seguro y eficiente. El estudio adopta un enfoque aplicado y descriptivo para su desarrollo.

La metodología adoptada en este estudio se basa en un enfoque aplicado y descriptivo, orientado al diseño y validación técnica de un simulador de entrenamiento con fuego real. Se desarrollarán cuatro fases principales: diagnóstico de necesidades formativas a los bomberos aeronáuticos de la DGAC, diseño conceptual y técnico del simulador bajo los lineamientos de la NFPA 1403, implementación de un prototipo operativo con sistemas de combustión controlada y módulos de realidad virtual, y finalmente, evaluación piloto mediante indicadores de desempeño, seguridad y percepción de eficacia. Este enfoque permitirá vincular el desarrollo tecnológico con la mejora continua de las competencias operativas en contextos reales de emergencia.

Bajo este contexto nos queda la interrogante que guía este estudio: ¿de qué manera la implementación de un simulador de entrenamiento con fuego real, complementado con herramientas tecnológicas, puede mejorar la preparación técnica y la seguridad operativa de los bomberos aeronáuticos de la DGAC del Ecuador? La respuesta a esta interrogante permitirá fundamentar la viabilidad de un modelo formativo integral que reduzca





riesgos, incremente la eficiencia de los entrenamientos y fortalezca la cultura de seguridad en los aeropuertos del país.

Marco Teórico.

Según la OACI (2018), la capacitación de bomberos aeronáuticos es crucial para la seguridad en los aeropuertos, ya que son los primeros en responder a emergencias como incendios en aeronaves, derrames de combustible o rescates en condiciones difíciles. La OACI exige que el personal del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios, SSEI, reciba una formación continua, la cual debe incluir prácticas realistas y controladas para mantener su pericia técnica. Sin embargo, debido a los altos riesgos y costos operativos de las prácticas con fuego real, se ha impulsado el uso de simuladores especializados. Estos simuladores permiten un entrenamiento seguro, realista y sostenible, sirviendo como una alternativa efectiva para la preparación de los bomberos aeronáuticos.

En palabras de Wang et al., (2021), un simulador de entrenamiento es un entorno artificial diseñado para reproducir fielmente las condiciones de una operación o emergencia real. Desde la perspectiva de los bomberos aeronáuticos, estos sistemas no solo replican el comportamiento del fuego y los materiales combustibles de las aeronaves, sino que también integran variables meteorológicas, la respuesta del equipo y la coordinación entre unidades. Para Eglin et al., (2022), el uso de estos simuladores con fuego controlado es beneficioso, ya que reduce los accidentes durante la formación y mejora la capacidad cognitiva de respuesta ante situaciones reales. Esto se logra al promover un aprendizaje experiencial basado en la exposición gradual al riesgo.

El aprendizaje en situaciones de emergencia se basa en teorías como el





modelo de Kolb (1984), que describe un ciclo de aprendizaje experiencial. Este ciclo incluye cuatro etapas: la experiencia directa, la reflexión sobre lo sucedido, la conceptualización de los principios y la aplicación de nuevos conocimientos. En otras palabras, en el entrenamiento de bomberos, las simulaciones son herramientas clave para este proceso. Un simulador permite a los participantes experimentar un escenario de riesgo, como un incendio aeronáutico, en un entorno controlado. Esto les da la oportunidad de analizar sus acciones, adaptar sus estrategias y practicar procedimientos de manera repetida hasta alcanzar un rendimiento óptimo. Lo anterior sugiere que, la simulación funciona como un método pedagógico que vincula la teoría de la seguridad industrial con la práctica profesional.

La norma NFPA 1403: Standard on Live Fire Training Evolutions (2023), es la referencia internacional principal para la planificación y ejecución de simulacros de incendios reales. Esta normativa establece los requisitos mínimos para el diseño de estructuras de entrenamiento, el control de combustibles, los sistemas de ventilación, las medidas de seguridad y la supervisión de los instructores. Su implementación asegura que las prácticas se realicen en un entorno seguro, lo que reduce el riesgo de lesiones al personal y daños a las instalaciones. En Ecuador, a pesar de que no existe una regulación específica para simuladores de fuego real, la seguridad y salud ocupacional en operaciones aeroportuarias están respaldadas por el Reglamento de la Dirección General de Aviación Civil del 2021, y el Decreto Ejecutivo 2393 así como el 255. Estos documentos proporcionan directrices que apoyan la creación de entornos de entrenamiento certificados y seguros.

De acuerdo con la Ley Orgánica de Prevención de Riesgos Laborales del





Ministerio del Trabajo (2017), y el Reglamento del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, las organizaciones tienen la obligación de ofrecer capacitación preventiva al personal que enfrenta riesgos críticos. Según la DGAC, esto implica que los bomberos aeronáuticos deben recibir equipos técnicos que les permitan entrenar de manera realista sin poner en peligro su bienestar físico. En otras palabras, la inversión en simuladores no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también garantiza el cumplimiento de la normativa nacional e internacional de seguridad laboral y aeronáutica.

Wheeler et al., (2021), señala que las actuales tendencias tecnológicas han incorporado la realidad virtual ,RV, y la realidad aumentada ,RA, como herramientas clave en la capacitación de bomberos. Estas tecnologías permiten la creación de escenarios dinámicos donde elementos como el fuego, el humo y las condiciones ambientales pueden ser ajustados en tiempo real para evaluar las respuestas de los participantes. De acuerdo con García y Domínguez (2020), las investigaciones recientes sugieren que la combinación de sistemas virtuales con entrenamientos de fuego real mejora significativamente los resultados de aprendizaje y acorta el tiempo necesario para que los bomberos alcancen la competencia operativa. Esto implica que, es importante destacar que la tecnología no reemplaza el entrenamiento físico tradicional, sino que lo complementa. Su principal valor radica en la preparación psicológica del bombero, ayudándolo a manejar el estrés térmico, la desorientación y el trabajo en equipo bajo presión.

El proyecto del simulador para la DGAC de Ecuador se alinea con el concepto de seguridad basada en competencias, promovido por la OACI (2018), En otras palabras, este enfoque busca que los profesionales del





sector aeronáutico no solo dominen los procedimientos, sino que también demuestren habilidades verificables en entornos simulados. Esto implica que, el entrenamiento con fuego real es un componente clave de la cultura de seguridad operacional. Se puede interpretar que, los errores no se consideran fallas que merecen castigo, sino oportunidades controladas para el aprendizaje y la mejora continua.

Para la Asamblea Nacional (2017), la implementación de simuladores de fuego real debe estar en armonía con las políticas de sostenibilidad establecidas en el Código Orgánico del Ambiente. Estas políticas exigen una reducción de las emisiones contaminantes y un uso responsable de los combustibles. Como menciona NFPA (2023), los simuladores modernos, que funcionan con gas licuado de petróleo ,GLP, o sistemas de combustión controlados electrónicamente, logran reducir las emisiones hasta en un 90% en comparación con los ejercicios tradicionales, esta innovación tecnológica es fundamental para conciliar la alta exigencia de la capacitación con la protección del medio ambiente, un aspecto crucial en la gestión de los aeropuertos sostenibles del siglo XXI.

Estado del Arte

De acuerdo con Eglín et al. (2022), El entrenamiento para bomberos con simuladores de fuego real ha mejorado significativamente en las últimas décadas, gracias a los avances tecnológicos y a la necesidad de garantizar la seguridad en las prácticas. En el pasado, los estudios sobre la formación de bomberos se centraban casi exclusivamente en ejercicios de campo y demostraciones prácticas. Sin embargo, estudios recientes indican que la simulación controlada puede ofrecer resultados de aprendizaje similares o superiores, con un menor riesgo para los bomberos. Desde esta





perspectiva los autores argumentan que la experiencia práctica sigue siendo vital, pero debe complementarse con herramientas tecnológicas que permitan recrear con mayor exactitud las condiciones de un incendio, a la vez que se reduce el impacto ambiental.

La capacitación en escenarios de fuego real es fundamental en la formación aeronáutica, ya que los incendios en aviones poseen características distintivas como temperaturas extremas, materiales específicos y espacios reducidos. En palabras de Wang et al., (2021), los simuladores diseñados para este tipo de incidentes optimizan la capacidad de decisión y la coordinación de los equipos. Esto se logra al exponer a los bomberos a situaciones que replican fielmente la dinámica del fuego, la producción de humo y la presión temporal. La investigación concluye que la efectividad del entrenamiento no se basa únicamente en el realismo de la simulación, sino también en la calidad de la retroalimentación y las evaluaciones posteriores que reciben los bomberos.

El realismo de la simulación no es el único factor relevante en la capacitación de los bomberos; también es crucial la calidad de la retroalimentación y las evaluaciones que reciben posteriormente. En palabras de Fernández y Cárdenas (2020), se resalta el valor del aprendizaje experiencial en este campo, señalando que los simuladores facilitan la integración del ciclo de Kolb (1984), que incluye la experiencia directa, la observación crítica, la conceptualización teórica y la aplicación práctica. Los autores afirman que este método de aprendizaje mejora tanto la retención de habilidades como la capacidad de los bomberos para gestionar sus emociones en situaciones de alta presión. Se puede interpretar que este enfoque pedagógico se ha adoptado en centros de





formación en Europa y América del Norte, donde se combina la enseñanza teórica con prácticas de fuego controlado y simulaciones digitales.

Para Wheeler et al., (2021), el desarrollo tecnológico ha transformado la capacitación de los bomberos. De acuerdo con un estudio comparó el desempeño de bomberos entrenados con realidad virtual y otros con simuladores de fuego real. Los hallazgos sugieren que ambos métodos son complementarios, ya que la realidad virtual mejora la comprensión táctica y la anticipación de riesgos, mientras que los simuladores de fuego real perfeccionan la resistencia al calor y la toma de decisiones bajo presión. En otras palabras, se concluye que la combinación de estas tecnologías representa el modelo de entrenamiento más completo para los servicios de emergencia.

Desde una perspectiva más técnica, Smith et al., (2022), destacan que los simuladores modernos de fuego real emplean sistemas de combustión controlada con gas licuado y sensores térmicos para regular la intensidad del fuego, garantizando la repetibilidad de los ejercicios y la seguridad del personal. Estos avances responden a la necesidad de optimizar recursos y minimizar los accidentes durante la formación. Además, los simuladores permiten registrar variables como temperatura, tiempo de respuesta y consumo de agua, lo que facilita la evaluación objetiva del desempeño del bombero.

La literatura científica destaca la importancia del impacto psicológico en el entrenamiento con fuego real. De acuerdo con García y Domínguez (2020), la exposición controlada y progresiva al riesgo fortalece la resiliencia emocional y las habilidades de liderazgo. Los autores sostienen que estos simuladores no solo deben replicar las condiciones físicas, sino





también las emocionales, incorporando elementos como visibilidad limitada, ruido y presión del tiempo. De esta forma, la formación se asemeja más a la complejidad real de una emergencia en un entorno aeroportuario.

En el ámbito de la investigación, se subraya la relevancia del efecto psicológico en los ejercicios de entrenamiento que simulan incendios reales. Según García y Domínguez (2020), la exposición controlada y gradual a situaciones de riesgo potencia tanto la resiliencia emocional como las aptitudes de liderazgo. Los expertos argumentan que los simuladores deben ir más allá de replicar las condiciones físicas, e incluir también aspectos emocionales como la visibilidad reducida, el ruido y la presión temporal. De este modo, la capacitación se aproxima de manera más fiel a la complejidad de una emergencia real en un entorno de aeropuerto.

La formación basada en competencias es el método predominante en la instrucción de bomberos aeronáuticos. Según McCarthy y Williams (2021), los simuladores son herramientas valiosas para evaluar habilidades técnicas (como el control de agua o espuma), tácticas (análisis de la situación, priorización de acciones) y aptitudes conductuales (como el liderazgo, el autocontrol y el trabajo en equipo). Este enfoque ha sido adoptado globalmente por organizaciones como la OACI y la Asociación Internacional de Formación del Servicio de Incendios ,IFSTA, con el propósito de estandarizar programas de entrenamiento que se basen en resultados medibles y objetivos.





La literatura académica refleja un creciente interés en la sostenibilidad ambiental de los simuladores de entrenamiento. En palabras de Fernández y Pérez (2023), a diferencia del entrenamiento convencional que utiliza combustibles líquidos y produce emisiones y desechos contaminantes, los simuladores modernos que emplean gas controlado logran una reducción en las emisiones de dióxido de carbono, CO_2 , y monóxido de carbono, CO . Esta adopción de tecnología no solo obedece a las normativas ambientales, sino que también se alinea con la tendencia global de las entidades públicas a fortalecer su responsabilidad social corporativa.

Desarrollo.

Diseño conceptual del simulador

La creación de un simulador de entrenamiento con fuego real para bomberos aeronáuticos de la DGAC se justifica por la necesidad de capacitar a los equipos de emergencia aeroportuaria en un ambiente seguro, controlado y ecológicamente consciente. Según Wang et al., (2021), el uso de simuladores especializados permite recrear con precisión las condiciones térmicas y de combustión de incendios reales, lo que minimiza los riesgos inherentes a las prácticas tradicionales.

- a) Justificación técnica, formativa y objetivos del simulador: La alta frecuencia de capacitaciones requeridas por la OACI (2018), para mantener la competencia del personal justifica la implementación de simuladores como solución viable y sostenible. Estos dispositivos tecnológicos contribuyen a la reducción de costos operativos, el consumo de combustible y los impactos ambientales asociados a los métodos de entrenamiento tradicionales. Por lo tanto, el proyecto





de un simulador de fuego real para la DGAC se considera una herramienta estratégica para la capacitación y la prevención.

Figura 1: Simulador de fuego real para Bomberos Aeronáuticos



Nota: Airport Fire Training Center Getting a Facelift/February 26, 2024/simulado con fuego real.

El bombero aeronáutico debe estar preparado para atender emergencias como materiales inflamables, estructuras metálicas y condiciones meteorológicas variables. Como señalan Eglin et al., (2022), La exposición controlada al fuego, les permite comprender las propiedades térmicas del combustible y cómo se propagan las llamas. Un simulador se convierte en una herramienta educativa que convierte el conocimiento técnico en una habilidad operativa efectiva.

De acuerdo con la OACI (2018), el uso de simuladores para el entrenamiento del personal es una estrategia eficaz para mantener su competencia. Estos dispositivos son una alternativa viable y sostenible a los métodos tradicionales, ya que reducen los costos operativos, el consumo de combustible y el impacto ambiental. La implementación de un simulador de fuego real en la DGAC se justifica como una herramienta estratégica para la capacitación y la prevención.





Los objetivos de un simulador se clasifican en tres categorías:

- Formativas
- Operativas
- Seguridad

En el ámbito formativo, el propósito es desarrollar las habilidades cognitivas, psicomotoras y actitudinales indispensables para una respuesta eficaz en situaciones de emergencia aeroportuaria. De acuerdo con Fernández y Cárdenas (2020), la eficacia del entrenamiento mejora cuando los participantes se enfrentan a escenarios que exigen la toma de decisiones bajo presión.

A nivel operativo, el simulador debe posibilitar la recreación de distintos tipos de incendios (como derrames de combustible, en la cabina, el motor o el fuselaje) y evaluar el tiempo de reacción, la coordinación entre los equipos y la comunicación táctica.

Desde la perspectiva de la seguridad, el objetivo es reducir al mínimo la exposición real al riesgo, sin sacrificar el componente práctico que es fundamental para la formación.

Requisitos funcionales y no funcionales

En palabras de Smith et al., (2022), un simulador de entrenamiento efectivo para sistemas de combustión debe cumplir con requisitos funcionales clave, como la precisión térmica, la capacidad de repetir ejercicios y el control remoto de los sistemas. El diseño propuesto utiliza un sistema de fuego alimentado por gas licuado de petróleo ,GLP, que se distribuye a través de válvulas automáticas y quemadores con control electrónico. Esta





configuración permite ajustar la intensidad y la duración del fuego según los escenarios de entrenamiento, lo que asegura tanto la seguridad como la eficiencia energética. Los requisitos no funcionales, como la durabilidad, el fácil mantenimiento, la compatibilidad con sistemas de monitoreo térmico y la sostenibilidad ambiental, son esenciales para que el simulador se mantenga operativo y cumpla con los estándares de entrenamientos internacionales.

- a) Principios pedagógicos: El componente pedagógico del simulador se fundamenta en el aprendizaje experiencial, según Kolb (1984), donde la interacción directa con el fuego es el elemento central del proceso de formación. Fernández y Cárdenas (2020), señalan que los entrenamientos más eficaces combinan la exposición física a situaciones de riesgo con una reflexión guiada posterior, conocida como "debriefing". Durante esta fase, el bombero evalúa sus decisiones y ajusta sus respuestas para futuras intervenciones.

Este enfoque conceptual también integra la teoría del aprendizaje basado en competencias, promovida por la International Fire Service Training Association, (IFSTA, 2021), que enfatiza la evaluación continua de habilidades observables. Cada sesión de entrenamiento se organiza en un ciclo que incluye: instrucción teórica, simulación virtual, práctica con fuego real y retroalimentación.

El valor educativo de un simulador radica en su habilidad para integrar la tecnología con la práctica real. En palabras de Wheeler et al., (2021), los ejercicios virtuales y las simulaciones físicas deben ser complementarios y no sustitutivos. En la formación de bomberos aeronáuticos, el fuego real es insustituible, ya que permite desarrollar la tolerancia al calor, la fortaleza





mental y el control de la adrenalina, aspectos que no se pueden replicar únicamente con software. El diseño conceptual se concibe como un entorno educativo completo, más allá de una simple estructura tecnológica, donde cada elemento (como el fuego, el calor, la comunicación y la evaluación) juega un papel crucial en el proceso de aprendizaje.

Enfoque integral del diseño

En palabras de la OACI (2018) y la IFSTA (2021), el diseño integral del proyecto busca un equilibrio entre tres aspectos clave: la seguridad, la pedagogía y la sostenibilidad. En cuanto a la seguridad, el diseño incluye sistemas de apagado de emergencia, monitoreo a distancia y barreras físicas de protección. Desde el punto de vista educativo, cada escenario simulado se alinea con las competencias específicas establecidas. En el ámbito ambiental, se prioriza el uso de combustibles limpios, materiales reciclables y sistemas de reutilización del agua.

Según García y Dominguez (2020), el desarrollo de habilidades en entornos controlados pero realistas contribuye a la formación de una cultura de seguridad operacional, donde la prevención se convierte en una parte esencial del aprendizaje diario. En otras palabras, el diseño conceptual del simulador no solo satisface una necesidad técnica, sino que también responde a una visión educativa más amplia, cuyo fin es fortalecer la capacidad de la institución para enfrentar emergencias aeronáuticas.

Estudio de factibilidad, construcción y equipamiento del simulador

En palabras de García y Muñoz (2021), la factibilidad va más allá de los costos o materiales, ya que también considera la relevancia educativa y el





impacto organizacional del proyecto. El estudio de factibilidad es una fase fundamental en la planificación de proyectos tecnológicos relacionados con la seguridad operacional en aeropuertos. Su objetivo es evaluar la viabilidad técnica, económica, ambiental y educativa de un proyecto, asegurando que su ejecución sea sostenible y cumpla con los requisitos de la DGAC y los estándares de la OACI.

- a) Factibilidad técnica y económica: La viabilidad técnica y económica de un simulador con fuego real constituye un componente esencial en la planificación de infraestructura para la capacitación aeronáutica. Desde el ámbito técnico, la construcción de estos simuladores requiere tecnología especializada, materiales de alta resistencia y personal capacitado para su operación. Reynolds (2020), señala que los modelos modernos se fabrican con estructuras metálicas capaces de soportar elevadas temperaturas y se complementan con sistemas automatizados de GLP, válvulas remotas y sensores térmicos, lo que permite recrear escenarios como derrames de combustible, incendios de motor o emergencias en cabina. En la DGAC existen áreas aptas para su instalación, aunque es necesario incorporar sistemas de control ambiental que minimicen emisiones y garanticen la seguridad del personal. Torres y Mendoza (2022), destacan que la integración de sensores infrarrojos, mecanismos de extinción automática y software para monitoreo térmico incrementa la fiabilidad del entrenamiento y facilita la evaluación del desempeño.

En la factibilidad económica, la inversión inicial puede parecer elevada, pero se considera estratégica a largo plazo. Los simuladores basados en gas





reducen significativamente los costos operativos asociados a métodos tradicionales, y según NFPA (2021), permiten disminuir hasta un 40 % los gastos de capacitación y un 60 % los incidentes durante prácticas. Además, estos equipos pueden generar ingresos mediante cursos certificados dirigidos a personal aeroportuario y bomberos municipales, contribuyendo a su sostenibilidad financiera. Un análisis costo-beneficio incluye materiales, sistemas de gas, instalación, capacitación y mantenimiento anual. El retorno se vuelve favorable cuando el simulador opera de manera continua al menos cinco años, garantizando entrenamientos regulares y reduciendo la dependencia de instalaciones externas.

b) Factibilidad pedagógica y operativa: El simulador no solo debe ser viable desde una perspectiva técnica y financiera, sino que también debe ser funcional desde el punto de vista pedagógico. Según Fernández y Cárdenas (2020), un simulador efectivo debe estar alineado con un modelo de enseñanza basado en competencias, donde cada escenario replique una situación real con metas de aprendizaje claras. El simulador permitirá desarrollar habilidades como:

- Reconocimiento del comportamiento del fuego.
- Aplicación de tácticas de control y extinción.
- Comunicación efectiva entre equipos.
- Toma de decisiones bajo presión.

La viabilidad operativa requiere la capacitación de instructores calificados. De acuerdo con IFSTA (2021), los formadores deben estar certificados en simulación de incendios reales, tener conocimientos de la normativa NFPA





1403 y poseer habilidades para la evaluación del desempeño. La integración de la tecnología y la pedagogía asegura que el simulador funcione como un entorno de aprendizaje de alto impacto, más allá de ser solo un equipo físico.

- c) Factibilidad ambiental y de seguridad: La sostenibilidad ambiental es un pilar fundamental del proyecto. Los simuladores modernos reemplazan los combustibles líquidos GLP o gas natural comprimido, lo que resulta en una disminución de las emisiones de dióxido de carbono y partículas contaminantes. Según Madsen y Thompson (2021), estos combustibles alternativos y más limpios reducen las emisiones en más del 70% en comparación con el diésel tradicional.

Figura 2: Sistema Centralizado de GLP



Nota: Congas / 2025 /GLP a granel – congas

El diseño del simulador debe incorporar sistemas para la recolección y reutilización del agua utilizada en las prácticas, cumpliendo con las directrices de la OACI (2018), sobre protección ambiental en operaciones aeroportuarias. La seguridad durante las prácticas se verá reforzada con la





inclusión de sensores de gas, alarmas de fuga y protocolos de seguridad basados en la normativa NFPA 1402.

En palabras de Wang et al., (2021), se recomienda la implementación de un sistema de apagado automático y monitoreo térmico remoto para mejorar el control de las variables de combustión y salvaguardar a los participantes, incluso en escenarios de alta exposición térmica

- d) Factibilidad institucional y normativa: De acuerdo con la OACI (2018), es fundamental que los programas de capacitación se integren en la gestión de riesgos de seguridad operacional, lo que posiciona al proyecto como un recurso clave para cumplir con los requisitos de dicho marco normativo. En otras palabras, el éxito de este proyecto está condicionado por su aceptación y el apoyo institucional que reciba. La DGAC en su rol de entidad reguladora y ejecutora, dispone de la organización necesaria para la correcta implementación del simulador, integrándolo en su Programa de Seguridad Operacional.

La viabilidad institucional implica la colaboración del SSEI y la Escuela Técnica de Aviación Civil, ETAC, Esta colaboración tiene como objetivo optimizar los recursos disponibles y establecer una red de capacitación a nivel nacional en el ámbito de las emergencias aeronáuticas.

La viabilidad regulatoria se fundamenta en los lineamientos internacionales de la NFPA, específicamente en las normas 1402, 1403 y 1003, así como en los requerimientos de formación establecidos por la OACI en su Anexo 14. El cumplimiento de estos estándares asegura que el simulador obtenga la

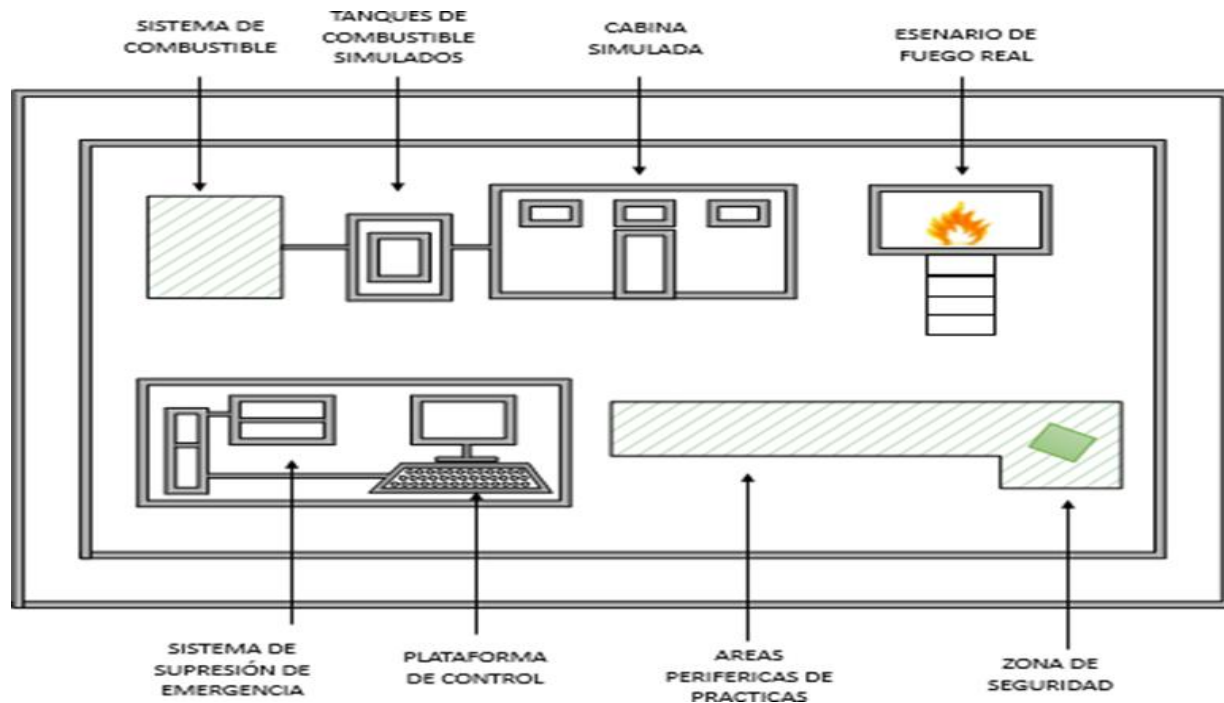




certificación y el reconocimiento de las autoridades tanto nacionales como internacionales.

Construcción, equipamiento y diseño estructural del simulador

Figura 3: Esquema del Simulador



Nota: Elaboración Propia

La creación de un simulador de entrenamiento con fuego real exige una planificación técnica meticulosa para asegurar la seguridad y la operatividad del sistema. Esta infraestructura debe replicar, de manera controlada y precisa, las condiciones térmicas y el comportamiento del fuego que se presentarían en incidentes aeronáuticos reales. De acuerdo con la OACI (2018), los centros de capacitación para servicios de rescate y extinción de incendios deben disponer de instalaciones que faciliten la





formación práctica sin poner en riesgo la integridad del personal ni el entorno.

Figura 4: Curso de Instructor de Fuego Vivo que corresponde a la normativa NFPA 1403



Nota: natursonne/agosto del 2019/simulador de fuego real

El diseño estructural del simulador se basa en un sistema de módulos de acero galvanizado de alta resistencia. Esta estructura está diseñada para resistir temperaturas superiores a los 800 °C durante exposiciones prolongadas. Según Jensen y Larsen (2021), el uso de acero A36 o aleaciones similares es una práctica común en estructuras de simulación, ya que estas ofrecen durabilidad y son fáciles de mantener. La estructura incluye paneles intercambiables que permiten configurar distintos escenarios de incendio, como los de la cabina de pasajeros, el motor, la bodega de carga o un derrame de combustible en la pista. Según la NFPA (2021), hay que promover la adopción de estructuras modulares con el fin de simplificar





los procesos de inspección, mantenimiento y la implementación de mejoras tecnológicas.

Figura 5.: Láminas de acero A36 resistente a temperaturas elevadas



Nota: Cia. General de Aceros S.A/ 10-2024/ laminas-a36

- a) Sistemas de fuego controlado: El simulador utilizara un sistema alimentado por GLP, lo cual mejora significativamente en comparación con antiguos métodos que utiliza combustibles líquidos. Este nuevo sistema permite un control preciso sobre la intensidad y la duración de la llama mediante el uso de válvulas electrónicas y un software de supervisión. Según Smith y Reynolds (2020), la implementación de sistemas de gas presurizado no solo disminuye el riesgo de explosión, sino que también elimina la contaminación residual del suelo, marcando un avance importante frente a los sistemas que dependían de combustibles fósiles líquidos.

Cada módulo del simulador se equipa con quemadores de acero inoxidable, sensores de presión y detectores de llama, los cuales están conectados a una unidad central de control. Esta configuración permite la activación en situaciones de emergencia específicas, como incendios en el fuselaje, motores o tanques de combustible. La automatización de estos sistemas de fuego, según lo documentado por la European Aviation Safety Agency



(EASA, 2020), optimiza la uniformidad y repetibilidad de los ejercicios de entrenamiento, asegurando así condiciones de práctica consistentes.

- b) Sistema de control de monitoreo: El simulador contara con una cabina de control central que permite a los instructores supervisar las prácticas en tiempo real. Esta cabina está equipada con cámaras térmicas, sensores de temperatura distribuidos por toda la estructura y un panel de control con indicadores digitales. Un software de monitoreo se encarga de almacenar los datos de cada sesión, facilitando así su posterior análisis y una retroalimentación pedagógica efectiva.

Figura 6: Camara Termica



Nota: Grup Carol/ 19 julio, 2022/cámaras térmicas

Figura 7: Detectores humo y sensores de temperatura





Nota: Protección e Integridad Industrial/05-05-2022/tipos de detectores

La recopilación metódica de datos durante simulaciones de emergencia es un pilar fundamental para el aprendizaje basado en la evidencia, De acuerdo con Fernández y Cárdenas (2020), la información obtenida es crucial para optimizar los protocolos de respuesta y para adaptar el nivel de dificultad a las competencias del personal en formación.

El sistema incluirá una función de emergencia autónoma que extinguirá las llamas si detecta temperaturas que superan los umbrales de seguridad o fallos de presión. Como mencionan Gómez y Vidal (2022), esta tecnología ha sido aplicada con éxito en centros de formación como el Fire Service College del Reino Unido y el Instituto Nacional de Aeronáutica Civil de Argentina.

- c) Equipamiento de seguridad: La seguridad de los participantes y del entorno es un aspecto de máxima prioridad. Para ello, el simulador debe estar rodeado por una zona de seguridad de al menos 50 metros. Esta área debe estar equipada con hidrantes, extintores de apoyo y una unidad móvil de asistencia médica. Según la NFPA (2021), cualquier ejercicio que involucre fuego real debe incluir un plan de emergencia formalmente documentado, una supervisión constante y el uso de equipos de comunicación de respaldo para garantizar la seguridad.

En áreas de alto riesgo, se implementarán medidas de seguridad clave, que incluyen la instalación de barreras térmicas, sistemas de ventilación forzada para la dispersión de gases y un sistema de alarma audiovisual para la evacuación inmediata en situaciones de emergencia.



Figura 8: Hidrante para incendios



Nota: Protecta/diciembre 12, 2025/hidrantes para incendios

Figura 9: Extintores portátiles para extinción de incendios



Nota: Gold Extin/2024/Extintor de Incendios Multipropósito

Figura 10: Alarmas para alerta de Incendios



Nota: Extintores B.S. Siglo XXI S.L./ 2025/sirenas para alertar de incendios.

En lo que respecta a la protección individual, es obligatorio que todo el personal utilice indumentaria certificada bajo el estándar NFPA 1971, junto con equipos de respiración autónoma, ERA.

Figura 11: Equipo de Protección Personal para bomberos



Nota: AmigoSafety/08-08-2022/Equipo Completo para Bombero RomakBOM-1001-13

Figura 12: Equipo de Respiración Autónomo Completo (ERA)



Nota: Mundo Dotaciones S.A.S/2025/ Equipo de Respiración Autónomo Completo.

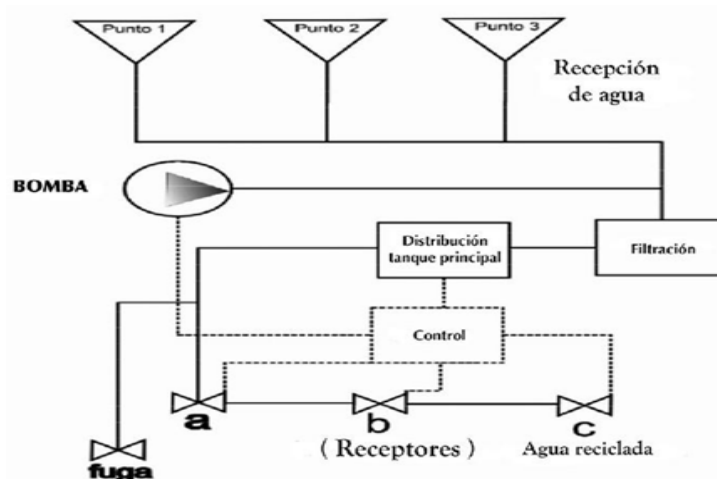


La integración de protocolos de seguridad en cada fase del diseño no solo asegura el cumplimiento de normativas globales, sino que también fomenta una cultura de prevención dentro del SSEI. Según Lee y Peterson (2022), la capacitación práctica con fuego real es fundamental para mejorar la percepción del riesgo y optimizar la capacidad de respuesta ante incidentes reales.

Gestión Ambiental, sostenible, supervisión y mantenimiento

El proyecto implementará estrategias de gestión ambiental sostenibles, dado que la simulación de incendios requiere el consumo de gas y agua. El sistema de drenaje y recolección de agua de enfriamiento incluirá un separador de residuos, lo que permitirá la reutilización del agua tratada en futuras prácticas, reduciendo así el desperdicio. Según Madsen y Thompson (2021), los simuladores modernos pueden disminuir el consumo de agua hasta en un 60 % gracias a sistemas de recirculación de circuito cerrado.

Figura 13: Diagrama del Sistema de Recirculación de Agua



Nota: Contreras M/ 2009/Diagrama de cuadros del sistema de reciclaje de aguas.





Se dará prioridad al uso de GLP de fuentes certificadas, con el objetivo de reducir la contaminación generada por combustibles líquidos. Las emisiones serán monitoreadas de manera continua, siguiendo las pautas establecidas por el Programa de Gestión Ambiental Aeroportuaria de la DGAC (2023).

Figura 14: Sistema industrial de Gas Centralizado de GLP.



Nota: qualynortperu/2023/sistemas centralizados de glp

La operatividad a largo plazo del simulador está sujeta a un estricto plan de mantenimiento preventivo y correctivo. Según Martínez y Ríos (2021), la revisión mensual de los componentes clave, como válvulas, quemadores y sistemas eléctricos, es fundamental para asegurar la fiabilidad y la seguridad del equipo.

Figura 15: Válvulas de GLP para sistema Centralizados



Nota: Glp-latam/2015/ Válvulas de GLP



Figura 16: Válvulas de control de fogata o llama, válvula de seguridad dispositivo falla llama.



Nota: made-in-china/2025/válvula de control de llama

El plan de mantenimiento abarca:

- Pruebas semanales de encendido y apagado automático.
- Calibración de sensores y válvulas.
- Limpieza y lubricación de componentes metálicos.
- Verificación anual del software de control y seguridad

Se sugiere la creación de un registro documental para cada proceso de mantenimiento, en línea con las directrices de trazabilidad técnica establecidas por la DGAC y la OACI (2018). La implementación de esta trazabilidad no solo optimizará las auditorías internas y las futuras certificaciones, sino que también asegurará la mejora continua del sistema.



Programa de capacitación, implementación y evaluación del proyecto

El éxito de un simulador de entrenamiento con fuego real está directamente relacionado con la implementación de un programa de capacitación completo. Este programa debe asegurar que el personal del SSEI desarrolle habilidades técnicas, tácticas y de seguridad. La capacitación de bomberos aeronáuticos se basa en un enfoque de competencias y en la experiencia práctica supervisada, siguiendo las pautas establecidas por la OACI (2018) y la NFPA (2021),.

La capacitación en situaciones de emergencia va más allá de las maniobras de extinción. Debe abarcar la gestión de riesgos, la comunicación operativa y la toma de decisiones. Según Fernández y Cárdenas (2020), la formación eficaz en entornos de simulación requiere un enfoque pedagógico que combine la práctica controlada con la reflexión crítica posterior, lo que convierte la experiencia en un aprendizaje significativo.

Entornos pedagógico y objetivos del programa

Según Kolb (1984), el enfoque pedagógico del programa se basa en el modelo de aprendizaje experiencial el cual propone que el conocimiento se adquiere a través de la acción, la observación y la conceptualización. Este modelo es especialmente relevante para la formación de bomberos aeronáuticos, ya que les permite practicar en escenarios de incendio realistas bajo supervisión, analizar los resultados de sus acciones y mejorar continuamente sus técnicas de intervención.

Los objetivos específicos del programa incluyen:





- Desarrollar competencias operativas para la respuesta rápida y efectiva ante incendios aeronáuticos.
- Fortalecer la coordinación y comunicación entre los miembros del SSEI durante emergencias.
- Promover la cultura de seguridad operacional dentro de la DGAC.
- Garantizar la aplicación de procedimientos estandarizados basados en normas internacionales.
- Fomentar el uso responsable y seguro de los recursos materiales y humanos.

Según Jensen y Larsen (2021), los programas de capacitación más eficientes integran la utilización de simuladores físicos con sesiones teóricas concisas, el estudio de casos y una retroalimentación individualizada. Esta combinación garantiza un proceso de aprendizaje completo y holístico.

- a) Estructura del programa de capacitación: El programa se organizará en cuatro niveles progresivos de formación, diseñados para abarcar desde el entrenamiento básico hasta la especialización técnica avanzada.

Nivel I – Formación básica:

Introducción al comportamiento del fuego aeronáutico, uso del equipo de protección personal (EPP) y familiarización con el simulador. En esta etapa busca que los participantes comprendan los principios de seguridad, la dinámica del fuego y el control de riesgos.





Nivel II – Operaciones tácticas:

Entrenamiento en el control de incendios en cabina, motores y derrames de combustible. Las prácticas incluyen ejercicios de entrada forzada, enfriamiento de estructuras y rescate de víctimas simuladas. Según la IFSTA (2021), este nivel es esencial para consolidar las habilidades motoras y tácticas.

Nivel III – Coordinación y liderazgo operativo:

Simulación de incidentes complejos con múltiples escenarios de fuego. Se refuerzan las competencias en liderazgo, trabajo en equipo y comunicación. Los instructores evalúan la capacidad de tomar decisiones bajo presión y la gestión de recursos.

Nivel IV – Evaluación integral y recertificación:

Pruebas finales que integran todos los conocimientos adquiridos. Se evalúa la capacidad de planificación y respuesta ante emergencias aeroportuarias reales. El cumplimiento exitoso permite la recertificación anual conforme a los estándares NFPA 1003 y OACI Anexo 14.

- b) Metodología de entrenamiento: La metodología del programa combina la enseñanza en persona con la simulación práctica y una evaluación formativa continua. Los participantes iniciarán con una sesión teórica breve para entender los conceptos clave, seguida de la práctica en un simulador y, para finalizar, un debate reflexivo.

De acuerdo con Gómez y Vidal (2022), esta secuencia pedagógica, conocida como "briefing, drill y debriefing", mejora la retención de conocimientos y la reacción motora y cognitiva en situaciones reales. El uso de registros de





rendimiento digitalizados también permite a los instructores identificar las fortalezas y debilidades de cada persona, ofreciendo una retroalimentación personalizada.

El entrenamiento se llevará a cabo en un entorno controlado, bajo la supervisión de instructores certificados en simulación de fuego real. Se aplicarán las pautas de seguridad de la NFPA 1403 (2021), que exigen un mínimo de un instructor por cada cinco participantes y una revisión previa del equipo de protección y comunicación.

- c) Competencias esperadas y evaluación: El programa está diseñado para fomentar el desarrollo de habilidades técnicas, como el manejo de mangueras, el control de espuma y las técnicas de rescate, así como competencias cognitivas y sociales, incluyendo el liderazgo, la comunicación y el control emocional. La evaluación del desempeño se llevará a cabo de manera continua, utilizando la observación directa, listas de verificación estandarizadas y retroalimentación inmediata.

Según Smith y Reynolds (2020), la evaluación formativa implementada durante los entrenamientos incrementa la efectividad del aprendizaje en un 30 %. Esto se debe a que facilita la corrección inmediata de errores y refuerza las buenas prácticas. El análisis de datos obtenidos a través de los sensores del simulador permite evaluar métricas como el tiempo de respuesta, la precisión y el uso de recursos, lo que contribuye a una mayor objetividad en el proceso de evaluación

- d) Capacitación de instructores: Contar con instructores especializados constituye un pilar esencial del programa. La OACI





(2018), señala que el personal docente debe poseer competencias pedagógicas, experiencia operativa y un profundo conocimiento de las normativas internacionales de entrenamiento.

El plan de capacitación incluirá:

- Curso de certificación en simulación con fuego real (NFPA 1403).
- Entrenamiento en liderazgo y manejo de equipos de trabajo.
- Capacitación en el uso de software de monitoreo y análisis de datos.
- Formación en primeros auxilios avanzados y control de estrés laboral.

Como mencionan Lee y Peterson (2022), la profesionalización de los instructores genera un efecto multiplicador en la calidad del entrenamiento, ya que los bomberos replican las buenas prácticas observadas en sus formadores.

- e) Operación del simulador y control de prácticas: El simulador opera a través de un programa de prácticas semanal que adapta los distintos niveles de formación. Cada sesión se documenta digitalmente, registrando los objetivos, resultados y observaciones. Este registro es esencial para auditorías internas de la DGAC y para obtener certificaciones externas.

Durante las prácticas, los instructores monitorean de manera continua las variables térmicas, la presión del sistema de gas y las condiciones del entorno. Según Wang et al. (2021), los simuladores actuales incorporan algoritmos de control predictivo para anticipar fallas y reducir los riesgos.





Esto implica que, si se detectan anomalías, el sistema activa automáticamente el modo de seguridad.

La implementación del simulador se ajustará a los Programa de Seguridad Operacional, SSP, y a los propósitos estratégicos del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional, SMS, de la Dirección General de Aeronáutica Civil. Este enfoque tiene como objetivo fortalecer la cultura de prevención y la administración del conocimiento en el sector aeroportuario.

Implementación y evaluación del proyecto

La fase culminante del proyecto se materializa en la implementación del simulador de entrenamiento con fuego real, que marca la transición del diseño teórico a la aplicación práctica. Durante esta etapa, se cumple el objetivo institucional de fortalecer las capacidades operativas del personal de bomberos aeronáuticos a través del uso de tecnología segura, sostenible y pedagógicamente eficaz. Según la OACI (2018), cualquier proceso de implementación relacionado con la seguridad operacional debe fundamentarse en una planificación estructurada, una gestión del cambio debidamente documentada y un sistema de evaluación continua.

- a) Plan de implementación: El proceso de implementación se llevará a cabo en cuatro etapas secuenciales, las cuales están alineadas con los objetivos estratégicos de la DGAC y el SSEI.

Fase 1 - Planificación y aprobación:

En esta etapa inicial, se establecerá un comité técnico interinstitucional. Este comité estará compuesto por representantes de la DGAC, el SSEI, ETAC y especialistas en ingeniería de simuladores. Sus responsabilidades incluirán la validación del diseño final, la selección de proveedores y la





gestión del presupuesto. En palabras de García y Muñoz (2021), la conformación de equipos multidisciplinarios favorece la toma de decisiones técnicas basadas en evidencia y reduce la probabilidad de errores en proyectos de infraestructura crítica.

Fase 2 – Construcción y montaje:

Esta etapa abarca la fabricación de los módulos metálicos, así como la instalación de los sistemas de gas, sensores, cableado y software de control. La construcción debe cumplir con los protocolos de seguridad industrial de la NFPA (2021), y las regulaciones ambientales nacionales. Durante esta fase, se realizarán pruebas técnicas para verificar la hermeticidad, calibrar las válvulas y confirmar el correcto funcionamiento de los sistemas de emergencia automáticos.

Fase 3: Pruebas operacionales y certificación

Una vez finalizada la construcción, se llevarán a cabo simulaciones piloto con instructores certificados para ajustar los parámetros de temperatura, presión y flujo de gas, asegurando la estabilidad del sistema. Según Lee y Peterson (2022), las pruebas iniciales en simuladores deben incluir un análisis de riesgos, un monitoreo térmico continuo y una revisión exhaustiva de los sistemas de corte automático.

Fase 4: Puesta en marcha y seguimiento

La fase final consiste en la inauguración oficial del centro de entrenamiento, la planificación de prácticas regulares y la implementación de un plan de mantenimiento preventivo. Se establecerá un sistema de monitoreo de desempeño para evaluar el impacto del simulador en la mejora de las competencias del personal del SSEI.





- b) Gestión del cambio y capacitación interna: La incorporación de un simulador de fuego real representa un cambio significativo en la cultura organizacional del SSEI y la DGAC. Para asegurar la aceptación y la participación activa del personal, este proceso debe ser gestionado con cuidado. Según Fernández y Cárdenas (2020), los procesos de innovación tecnológica en entornos de seguridad requieren de un acompañamiento formativo y una comunicación transparente para que los usuarios entiendan los beneficios y responsabilidades del nuevo sistema.

Para lograrlo, se programarán jornadas de socialización, talleres de actualización y capacitaciones dirigidas a los responsables de operación, mantenimiento y seguridad. La gestión del cambio también abarcará la actualización de manuales internos, procedimientos operativos estándar, POE, y protocolos de emergencia.

Evaluación de resultados e indicadores de desempeño

La evaluación de este proyecto se fundamentará en indicadores tanto cuantitativos como cualitativos, con el fin de medir la eficacia del simulador y su impacto en la formación. Estos indicadores serán cruciales para determinar el nivel de cumplimiento de los objetivos y la viabilidad a largo plazo del sistema.

Los indicadores clave incluyen:

- El índice de participación y aprobación en los cursos de formación.
- La disminución del tiempo de respuesta en situaciones simuladas.





- El aumento en el número de bomberos certificados según la norma NFPA 1003.
- La reducción de incidentes o lesiones durante las prácticas.
- La valoración positiva de los participantes sobre la utilidad del simulador.

Según Smith y Reynolds (2020), los programas de entrenamiento que incorporan retroalimentación basada en datos demuestran mejoras significativas en la competencia operativa de los bomberos, especialmente en áreas como la coordinación y el liderazgo.

La recopilación de resultados se realizará a través de informes digitales, encuestas de satisfacción y evaluaciones técnicas. Esta información se analizará cada tres meses para proponer mejoras en la metodología de entrenamiento, el mantenimiento del equipo o la actualización tecnológica.

- a) Supervisión técnica y control de calidad: La DGAC supervisara constantemente y elaborar auditorías internas y externas, garantizando el cumplimiento de normas internacionales. La OACI (2018), recomienda la adopción de mecanismos de control de calidad que aseguren la trazabilidad de cada entrenamiento, desde la concepción y planificación hasta la ejecución.

Este proceso de supervisión abarcará la revisión de registros de mantenimiento, inspecciones de equipo y la verificación de protocolos de seguridad. Se impulsará la





certificación del simulador según estándares internacionales de calidad, lo que facilitará su reconocimiento a nivel regional. Gómez y Vidal (2022), señalan que la certificación externa contribuye a fortalecer la credibilidad de la institución y fomenta la colaboración con otros bomberos aeroportuarios.

- b) Plan de mejora continua: Una vez que el simulador esté operativo, la DGAC debe sostener un proceso de mejora constante, fundamentado en los principios del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS). Este método permitirá la identificación de desviaciones, el registro de aprendizajes y la implementación de acciones correctivas de forma organizada.

El plan incluirá:

- Evaluaciones de desempeño anuales, tanto en el ámbito técnico como en el pedagógico.
- Actualización y revisión constante de los procedimientos operativos.
- Programas de formación continua para los instructores.
- La integración de nuevas tecnologías de simulación, como la realidad aumentada o la inteligencia artificial.

De acuerdo con Jensen y Larsen (2021), la capacidad de una institución para adaptar sus programas de entrenamiento a los cambios tecnológicos y sociales es fundamental para lograr una innovación sostenida, siempre y cuando se mantenga la prioridad en la seguridad y la calidad.





Discusión

El simulador de entrenamiento con fuego real, desarrollado para los bomberos aeronáuticos de la DGAC, aborda una necesidad histórica en la gestión de emergencias aeroportuarias. Su objetivo es proporcionar un entorno controlado y seguro donde el personal pueda adquirir una experiencia realista, protegiendo su integridad y sin comprometer las operaciones aeronáuticas. Para la OACI (2018), esta infraestructura de capacitación está alineada con las directrices internacionales sobre seguridad operacional y formación especializada y que enfatizan la capacitación práctica y la estandarización de procedimientos como elementos clave para un desempeño seguro en aeropuertos.

Se ha evidenciado a través de diversas investigaciones que la capacitación fundamentada en la simulación mejora de manera considerable la aptitud de respuesta frente a situaciones de emergencia. En palabras de Lee y Peterson (2022), observaron que los bomberos aeronáuticos que se entrenan con simuladores de fuego real demuestran una mejora del 30% en su tiempo de reacción y una disminución notable en los errores operativos durante las intervenciones reales. Estos resultados respaldan la relevancia del proyecto de la DGAC, ya que proporcionan evidencia empírica de que el entrenamiento inmersivo no solo favorece el desarrollo de habilidades técnicas, sino que también contribuye al fortalecimiento de la confianza, la coordinación y el liderazgo en momentos de crisis.

En Ecuador, la ausencia histórica de simuladores especializados ha forzado al personal a realizar entrenamientos en condiciones precarias o con fuego controlado en espacios abiertos. Esta situación no solo limita la capacidad de replicar escenarios de manera consistente, sino que también expone a





los trabajadores a riesgos innecesarios. Según Gómez y Vidal (2022), la falta de una infraestructura moderna de simulación en América Latina ha sido un obstáculo para la estandarización de las competencias en seguridad aeronáutica a nivel regional. Este artículo aborda una necesidad técnica crucial y, al mismo tiempo, posiciona al país como un líder en la tendencia global de innovación para la capacitación del personal de emergencias aeroportuarias

En palabras de Madsen y Thompson (2021), anteriormente, las prácticas con fuego real consumían una gran cantidad de combustibles fósiles y liberaban gases contaminantes. Sin embargo, las tecnologías modernas han adoptado sistemas de recirculación de agua, control electrónico de la combustión y el uso de gas propano, lo que disminuye significativamente el impacto ambiental. El artículo se alinea con un modelo de sostenibilidad operativa que equilibra la formación intensiva con la responsabilidad ecológica.

La implementación de un simulador representa una estrategia para fortalecer la institución. García y Muñoz (2021), señalan que los proyectos de innovación en infraestructura de seguridad exigen una gestión del cambio bien planificada, que considere tanto la aceptación del personal como la adaptación de los procesos internos. En el contexto de la DGAC, esto conlleva la actualización de manuales, la formación de instructores y la creación de protocolos de certificación. Estas tareas, aunque complejas, aseguran que la nueva tecnología sea adoptada de manera efectiva por el SSEI.

Desde un enfoque metodológico, la creación del simulador constituye un ejercicio de planificación multidimensional. La construcción no solo





demanda precisión técnica, sino también la articulación entre ingeniería, seguridad ocupacional, gestión ambiental y pedagogía del entrenamiento. La literatura especializada respalda esta visión holística: Fernández y Cárdenas (2020), sostienen que los programas de capacitación con simuladores deben diseñarse bajo el principio de aprendizaje experiencial, en el que el error controlado se convierte en una herramienta de mejora del desempeño. La discusión sobre la metodología implementada en el artículo revela la importancia de integrar enfoques interdisciplinarios que permitan equilibrar la tecnología con la pedagogía.

El artículo presenta un desafío adicional: la evaluación del impacto formativo. Según Smith y Reynolds (2020), la evaluación de los simuladores no debe centrarse únicamente en su capacidad técnica, sino también en su efecto en el aprendizaje a largo plazo. Por lo tanto, el plan de evaluación propuesto, que incluye indicadores de desempeño, reducción de incidentes y satisfacción de los usuarios, es crucial para medir la efectividad del simulador y justificar futuras inversiones. La DGAC puede usar estos indicadores para validar, con datos concretos, la mejora en la competencia de sus bomberos aeronáuticos, lo que a su vez fortalece la reputación institucional y la confianza pública.

En palabras de Torres y Mendoza (2022), los centros de entrenamiento especializados pueden funcionar como centros de investigación aplicada, produciendo datos valiosos para mejorar los protocolos de seguridad en aviación y responder de manera más efectiva a emergencias. En Ecuador, esto podría materializarse a través de convenios entre la DGAC, universidades técnicas y cuerpos de bomberos municipales, fomentando la innovación y el aprendizaje continuo.





Desde el punto de vista del capital humano, este proyecto representa un avance notable en la profesionalización de los bomberos aeronáuticos. Según Carter et al., (2020), la literatura especializada indica que el entrenamiento realista no solo mejora las habilidades técnicas, sino también las capacidades cognitivas, como la toma de decisiones bajo presión, el trabajo en equipo y la autorregulación emocional. Estas habilidades, a menudo infravaloradas, son cruciales en situaciones de alto riesgo donde la respuesta humana es determinante para la eficacia de la emergencia.

La implementación de simuladores para la formación de bomberos aeroportuarios podría modernizar los métodos de entrenamiento. La mayoría de los aeropuertos ecuatorianos utilizan enfoques tradicionales que se basan en la teoría y la práctica supervisada, los cuales no preparan adecuadamente al personal para la complejidad de los incendios en aeronaves. Según Nowak y Kim (2021), la simulación con fuego real es crucial porque reproduce variables críticas, como la radiación térmica, la visibilidad reducida y la propagación dinámica, que no se pueden replicar con otros métodos.

El artículo no solo mejora la seguridad operacional, sino que también genera amplios beneficios sociales y ambientales. La modernización del sistema de capacitación del SSEI contribuirá a una mejor percepción pública sobre la capacidad de respuesta ante emergencias aeronáuticas, fortaleciendo la confianza en las instituciones de seguridad aérea. El enfoque ecológico del simulador se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, las Naciones Unidas, específicamente con el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) y el ODS 13 (acción por el clima).





Conclusiones

La creación de un simulador de entrenamiento y prácticas con fuego real para los bomberos aeronáuticos de la DGAC constituye un avance significativo en la modernización de la gestión de emergencias aeroportuarias en el Ecuador. Este proyecto fortalece de manera directa las competencias técnicas, operativas y cognitivas del personal del SSEI, permitiendo una preparación más realista y eficaz frente a escenarios de alto riesgo propios de la actividad aeronáutica. La evidencia técnica revisada a lo largo del estudio demuestra que el entrenamiento basado en simulaciones realistas contribuye a mejorar la precisión operativa, la coordinación interinstitucional y la capacidad de respuesta ante situaciones críticas.

Desde el enfoque de la seguridad operacional, el proyecto se alinea con los estándares internacionales que promueven la formación práctica como un eje esencial para la prevención de accidentes y la gestión adecuada de emergencias. La implementación del simulador permitirá a la DGAC disponer de una infraestructura permanente destinada a la capacitación continua, garantizando que el personal mantenga niveles óptimos de competencia técnica y preparación psicológica frente a eventos de alta complejidad.

En términos de sostenibilidad, el simulador integra tecnologías más limpias y sistemas de gestión ambiental que reducen significativamente los impactos negativos asociados a los métodos tradicionales de entrenamiento con combustibles líquidos. Este enfoque evidencia un compromiso institucional con la innovación responsable y con los objetivos





de desarrollo sostenible, particularmente aquellos relacionados con la acción climática y la modernización de infraestructuras críticas.

Este proyecto se consolida como una iniciativa estratégica para fortalecer la cooperación entre la DGAC, las instituciones académicas y los cuerpos de bomberos municipales, promoviendo la creación de una red nacional de formación especializada en seguridad aeronáutica. La sostenibilidad a largo plazo dependerá de la capacidad institucional para mantener procesos de actualización tecnológica, gestión del conocimiento y mejora continua. La implementación del simulador no solo optimiza las capacidades del personal, sino que refuerza la responsabilidad del Estado ecuatoriano en la garantía de operaciones aéreas seguras, resilientes y orientadas a la protección de la vida.

Recomendaciones

Basándose en los hallazgos obtenidos y el análisis de la bibliografía revisada, se proponen diversas recomendaciones orientadas a potenciar la implementación, sostenibilidad y efectividad del simulador de entrenamiento con fuego real para los bomberos aeronáuticos de la DGAC.

Se propone la creación de un plan nacional de formación continua. Dicho plan incluiría programas anuales de capacitación, revalidación y certificación, fundamentados en estándares internacionales como los de la NFPA 1003 y las directrices de la OACI. El propósito de este plan es asegurar la actualización constante del personal operativo y de los instructores, fomentando una cultura organizacional enfocada en la seguridad y el desarrollo profesional.





Se propone la implementación de un sistema exhaustivo de seguimiento y valoración del rendimiento, empleando métricas tanto cuantitativas como cualitativas para calibrar la eficacia de los procedimientos, la consecución de metas y la minimización de sucesos adversos durante las sesiones de formación. Este método posibilita la adaptación de estrategias y la identificación proactiva de áreas de optimización, previniendo la materialización de fallos en escenarios operativos.

Se recomienda priorizar la gestión energética y ambiental del simulador, promoviendo el uso de combustibles limpios, la reutilización eficiente del agua y el monitoreo continuo de emisiones. Estas acciones contribuirán a minimizar el impacto ambiental del entrenamiento sin comprometer la calidad formativa ni la operatividad del sistema, reforzando el compromiso institucional con la sostenibilidad.

La DGAC podría potenciar la colaboración con otras instituciones a través de acuerdos con universidades, cuerpos de bomberos locales y centros de investigación. El propósito de esta iniciativa es impulsar proyectos de innovación y facilitar la transferencia de conocimientos. Dichas asociaciones harían posible expandir la utilización del simulador, maximizar la eficiencia de los recursos disponibles, fomentar la capacitación de instructores certificados a nivel nacional.

Se recomienda la consolidación de un programa de mejora continua, en concordancia con los principios del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional, con el fin de garantizar la actualización tecnológica, la evaluación sistemática del rendimiento y la viabilidad a largo plazo. Así, el simulador no solo cumplirá su función técnica, sino que se establecerá como un referente regional de excelencia y resiliencia institucional.





Referencias

Bail, R. de F., Michaloski, A. O., Bortolassi de Oliveira, R. A., & Slomp Aguiar, E. J. (2023). Usability of immersive technology for education and training of firefighters in Brazil. *International Journal for Innovation Education and Research*, 10(9), 1–12. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol10.iss9.3921>

Hora, J. (2025). Effectiveness of firefighter training for indoor intervention: Analysis of temperature profiles and extinguishing effectiveness. *Fire*, 8(8), 304. <https://doi.org/10.3390/fire8080304>.

Lawson, G., Shaw, E., Roper, T., Nilsson, T., Bajorunaite, L., & Batool, A. (2019). Immersive virtual worlds: Multi-sensory virtual environments for health and safety training. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/1910.04697>

Novak, M. (2025, January 28). Virtual reality training for the fire service. *Firehouse Magazine*. <https://www.firehouse.com/technology/virtual-reality/article/55249874/virtual-reality-training-for-the-fire-service>

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2022). Manual de servicios de salvamento y extinción de incendios en aeropuertos (Doc 9137-AN/898, Parte 1, 6.^a ed.). Montreal: OACI.

Dirección General de Aviación Civil del Ecuador (DGAC). (2023). Informe de gestión del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI). Quito: DGAC.





Wheeler, S. G., Engelbrecht, H., & Hoermann, S. (2021). Human factors research in immersive virtual reality firefighter training: A systematic review. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 671664. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.671664>.

International Civil Aviation Organization. (2021). Annex 14 – Aerodromes, Volume I: Aerodrome Design and Operations (8th ed.). Montreal: ICAO.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE). (2021).

Reglamento de Infraestructura Aeroportuaria y Servicios de Seguridad Operacional. Quito: MTOPE.

Córdoba, A., & López, J. F. (2020). Gestión integral del riesgo y entrenamiento en emergencias aeroportuarias: Un enfoque práctico para la aviación civil. *Revista Iberoamericana de Seguridad Aérea*, 12(3), 45–59.

Gómez, P., & Hernández, D. M. (2022). Diseño y validación de un simulador de incendios para la formación técnica de bomberos aeronáuticos. *Revista Ciencia y Tecnología Aeroportuaria*, 4(1), 18–29.

Sierra, M., & Viteri, L. A. (2021). Evaluación del desempeño operativo en prácticas con fuego real en aeropuertos ecuatorianos. *Revista Latinoamericana de Seguridad Industrial*, 7(2), 55–68.

