



**Integración de un simulador de vuelo con inteligencia artificial para las actividades de
entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la ESAVI**

Cristian Álzate Zuluaga
Juan Camilo Montilla Casallas
Julián Andrés Correa Cadavid

Universidad EAN
Maestría en Gerencia de Proyectos
Bogotá, Colombia
2024

**Integración de un simulador de vuelo con inteligencia artificial para las actividades de
entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la ESAVI**

Cristian Álzate Zuluaga
Juan Camilo Montilla Casallas
Julián Andrés Correa Cadavid

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Gerencia de Proyectos

Director:
Andrés Felipe Guarnizo Saavedra

Modalidad:
Monografía

Universidad EAN
Maestría en Gerencia de Proyectos
Bogotá, Colombia
2024

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá, 05/02/2024

Agradecimientos

Este trabajo de grado para optar el título de magister en Gerencia de Proyectos, ha requerido un esfuerzo y mucha dedicación por parte de nuestro equipo de trabajo, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que más adelante citaremos, las cuales han sido un soporte muy fuerte para la realización y sustentación de este trabajo.

Primero agradecerle a DIOS todo poderoso, que nos permitió estudiar esta maestría y darnos el don de la sabiduría, el entendimiento y la fortaleza necesaria para la realización de este trabajo

En segundo lugar, a nuestras FAMILIAS quienes son nuestra inspiración y el soporte fundamental y la piedra angular para permitarnos mantener firme y nunca desfallecer en los momentos difíciles, cuando por cosas del trabajo debíamos sacrificar más tiempo de familia para estudiar.

En tercer lugar, a la sagrada institución POLICÍA NACIONAL, porque a través del programa de becas, nos brindó una oportunidad para afianzar nuestra vida profesional y fortalecer nuestro proyecto de vida.

En cuarto lugar, a la UNIVERSIDAD EAN, porque a través de su cuerpo docente altamente preparado, transmitieron el conocimiento desinteresadamente lo que nos permitió formarnos como profesionales capaces y responsables.

Por último, a la ESCUELA DE AVIACIÓN POLICIAL, por permitarnos explorar nuevos horizontes de conocimiento, con sus estudiantes, instructores quienes aportaron desde su experiencia para la construcción de este trabajo de grado.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo caracterizar el funcionamiento de la simulación de vuelo basada en inteligencia artificial para la optimización del entrenamiento de pilotos en la Escuela de Aviación Policial. Para ello, se indagaron las desventajas del RedBird FMX y compararon algunas de sus funciones esenciales con la IA mediante la metodología exploratoria que se enfocó en la aplicación de una encuesta con Escala de Likert a un grupo de pilotos de la ESAVI. Esta tuvo como finalidad medir el nivel de acuerdo frente a una serie de enunciados que contrastan las características del RedBird FMX con la simulación basada en IA. Los datos contrastantes de este instrumento permitieron comprobar la hipótesis investigativa que afirma que se puede mejorar la experiencia de los pilotos en la simulación, mediante el aprendizaje automático y la asignación de una amplia variedad de pruebas que contribuyen a la eliminación de riesgos y potenciación de habilidades multitarea. Los resultados también dejaron como dato concluyente la falta de familiarización de los pilotos con la IA, por tanto, se propuso integrarla al RedBird FMX a través de un software de IA que puede generar escenarios de vuelo más dinámicos y adaptativos al nivel de habilidad y experiencia del piloto.

Palabras clave: Simulación de vuelo, inteligencia artificial, entrenamiento, tarea, personalización.

Abstract

This research aims to characterize the operation of flight simulation based on artificial intelligence for the optimization of pilot training at the Police Aviation School. To do this, they investigated the disadvantages of RedBird FMX and compared some of its essential functions with AI using the exploratory methodology that focused on applying a Likert-scale survey to a group of ESAVI pilots. The purpose of this study was to measure the level of agreement against a series of statements that contrast the characteristics of the RedBird FMX with the simulation based on AI. The contrasting data of this instrument allowed us to verify the research hypothesis that the pilot experience in the simulation can be improved, through machine learning and assigning a wide variety of tests that contribute to risk elimination and multi-tasking skills empowerment. The results also left as conclusive data the lack of familiarity of the pilots with the AI, Therefore, it was proposed to integrate it into the RedBird FMX through AI software that can generate more dynamic and adaptive flight scenarios at the level of skill and experience of the pilot.

Keywords: Flight simulation, artificial intelligence, training, task, personalization.

Contenido

Introducción	12
Objetivos	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos.....	14
Justificación.....	14
Marco teórico	16
Hipótesis.....	31
VARIABLES.....	32
Metodología	34
Trabajo de campo	41
Procesamiento de los datos	41
Análisis de los Resultados.....	43
Propuesta a la solución de la problemática	55
Discusión.....	61
Conclusiones y trabajo futuro	65
Referencias	67
Anexos.....	71

Lista de tablas

Tabla 1. Cantidad de respuestas en cada ítem de la escala	41
Tabla 2. Porcentaje de respuestas en cada ítem de la escala	42
Tabla 3. Desventajas del simulador RedBird FMX	47
Tabla 4. Comparación entre el simulador de vuelo Redbird FMX y un simulador de vuelo con inteligencia artificial.....	54

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo formación del piloto policial en la ESAVI	27
Figura 2. Cabina de simulación RedBird FMX.....	29
Figura 3. Configuración manual del Redbird FMX	30
Figura 4. Hipótesis de tipo exploratoria	32
Figura 5. Categoría del piloto.....	38
Figura 6. Años de experiencia profesional como piloto.....	39
Figura 7. El RedBird FMX permite maniobrar con total libertad.....	44
Figura 8. El RedBird puede evaluar la capacidad del piloto para mantener la aeronave en posición y navegar hacia su destino	45
Figura 9. El RedBird FMX reconoce el comportamiento anímico y la condición física del piloto	46
Figura 10. El RedBird emite una alarma y proporciona información sobre las fallas de los pilotos para corregirlas	47
Figura 11. El RedBird FMX proporciona una experiencia realista y envolvente.	49
Figura 12. La representación visual del RedBird FMX se adecua a los diversos escenarios del entorno colombiano.	50
Figura 13. El RedBird ayuda a los pilotos a practicar cómo lidiar las emergencias de vuelo producidas por ataques terroristas de manera segura	51
Figura 14. El RedBird permite a los pilotos experimentar fallas en los controles de sistemas de navegación, presurización, en el sistema de motor y durante el aterrizaje	52
Figura 15. En una situación de emergencia el RedBird evalúa la capacidad del piloto para manejar el estrés y la fatiga.....	53
Figura 16. El RedBird ayuda a los pilotos básicos a aprender a gestionar los recursos de cabina.	56
Figura 17. La simulación con IA es más personalizada	57
Figura 18. La IA permitiría mejorar las prácticas en situaciones no planificadas	58
Figura 19. Estructura visual simple de la propuesta de integración de la IA al RedBird FMX, a través del software Assana	60

Figura 20. Descripción de las tareas en cada fase del proyecto propuesta para la integración de de la IA al RedBird FMX.....61

Lista de anexos

Anexo A. Instrumento de medición.71
Anexo B. Consentimiento informado.....80
Anexo C. Validación instrumento de medición81

Introducción

Esta investigación constituye una propuesta que busca optimizar el entrenamiento de los pilotos de la Escuela de Aviación Policial (ESAVI), a partir de la integración de la inteligencia artificial (IA) en las pruebas de simulación para que algorítmicamente analice las habilidades del piloto y las debilidades que se deben superar de manera particular, de esta forma optimizar las capacidades de reacción frente a múltiples situaciones presentes en el ejercicio aeronáutico, como los factores climatológicos imprevistos, fallas técnico-mecánicas o errores humanos en el pilotaje (Villalobos, 2020). La propuesta que busca optimizar la evaluación, preparación y capacitación de los pilotos policiales, parte de la identificación de algunas desventajas en materia de retroalimentación, orientación y desarrollo de capacidades para la toma de decisiones rápidas y acertadas en situaciones de emergencia, a través de escenarios y condiciones más realistas (Villamil, et al., 2018).

La industria de la aviación argumenta que los simuladores de vuelo son vitales para el entrenamiento de los pilotos, pues la adaptación de estos equipos a una cabina de pilotaje real permite que el piloto se enfrente a circunstancias adversas en tiempo real y adquiera experiencia durante las maniobras de despegue, vuelo y aterrizaje (Vargas, et al., 2021). En la actualidad, la ESAVI cuenta con 6 entrenadores de vuelo para la realización de actividades y ejercicios teórico prácticos en aeronaves de ala fija, ala rotatoria, tripulantes y/o artilleros y operadores de sistemas aéreos remotamente tripulados (SIART), no obstante, son de tecnología análoga, proporcionan una inmersión en realidad virtual 2D y emiten sutiles vibraciones a través de servos hidráulicos en el asiento de cabina (Escuela de Aviación Policial, 2023).

Aunque estos sistemas, como el simulador RedBird FMX, logran un ambiente más ajustado a la realidad a la hora de realizar prácticas de vuelo, no se encuentran a la vanguardia de la industria 4.0 que han venido revolucionando el entrenamiento de los pilotos; es cierto que la realidad virtual genera una conciencia situacional, los instrumentos de la cabina permiten al piloto familiarizarse con los diferentes controles de vuelo para experimentar el comportamiento, funcionamiento e incidencia durante la realización de las operaciones aéreas (Díaz, et al., 2020),

pero no cuenta con un sistema que recopile o utilice posteriormente esa información para mejorar el rendimiento en cada etapa de entrenamiento, tampoco cuenta con una red que descifre cómo está actuando el piloto y envíe de forma automática ejercicios prácticos para tomar medidas en situaciones de alto riesgo a las cuales pueden ser sometidas las tripulaciones y la realidad virtual es no inmersiva, por tanto, la sensación del piloto en materia de orientación, inclinación y rotación se asemeja poco a la realidad que el personal experimenta al momento de realizar ejercicios o actividades prácticas de vuelo bajo instrucción.

Por tanto, ¿Qué tipo de simulador basado en IA podría ser integrado al proceso de entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos de la ESAVI para aumentar la eficiencia y seguridad en las operaciones aéreas?

Para dar respuesta al planteamiento investigativo, este documento presenta las diferentes teorías académicas que se han desarrollado en simulación de vuelo y evolución de la IA, utiliza una metodología exploratoria mediante la cual se aplicó una encuesta a un grupo de pilotos policiales de la ESAVI para medir el nivel de acuerdo o desacuerdo frente a una serie de enunciados que contrastan las características del simulador RedBird FMX con la simulación basada en IA. El análisis de los datos permitió hallar como resultado la necesidad de incorporar al RedBird FMX un software de IA con el objetivo de generar escenarios de vuelo más dinámicos y adaptativos durante la simulación, ya que la hipótesis centrada en reconocer que el sistema de detección de errores de la IA puede contribuir a la eliminación de riesgos durante el desarrollo de las operaciones aéreas y potenciar las habilidades multitarea del cuerpo de aviación policial, es verificable y justificable, además, uno de los datos concluyentes es que la falta de familiarización de los pilotos con la IA no les permite estar completamente conscientes de las capacidades y ventajas que ofrece en sus operaciones y desarrollo de habilidades, por tanto, con el desarrollo de este documento se espera poder aportar al crecimiento del conocimiento e impulsar a través de la academia a que esta propuesta pueda ser ejecutada y así optimizar los procesos de formación y capacitación de centenares de pilotos de la ESAVI.

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar el funcionamiento de la simulación de vuelo basada en inteligencia artificial (IA) para la optimización del entrenamiento y reentrenamiento de pilotos en la Escuela de Aviación de la Policía Nacional.

Objetivos específicos

Indagar las desventajas del simulador RedBird FMX que limitan la optimización del entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la Escuela de Aviación de la Policía Nacional.

Comparar el funcionamiento del RedBird FMX con la simulación basada en inteligencia artificial para la formación de los pilotos policiales en la ESAVI.

Proponer el uso de la inteligencia artificial en la simulación de vuelo para la capacitación y entrenamiento de los pilotos de la Policía Nacional de Colombia.

Justificación

La elaboración de esta investigación está fundamentada en la Política de Educación para la Fuerza Pública 2022-2026 que busca mejorar la calidad en los procesos de instrucción, capacitación, entrenamiento y reentrenamiento en materia operativa, con el fin de potenciar las destrezas, habilidades y conocimientos del personal policial que en conjunto cumple con la misión constitucional (Ministerio de Educación Nacional, 2021). Por otro lado, la institución policial en la actualidad requiere de más avances tecnológicos que permitan potenciar las competencias del personal policial de manera iterativa a partir de información recopilada que posteriormente es fundamental para determinar los aciertos, errores, fortalezas y debilidades, así que la integración de un simulador de vuelo basado en inteligencia artificial en el Centro de Simulación de la Escuela de Aviación de la Policía Nacional es viable porque puede optimizar la

capacitación del personal aeronáutico, además es un medio tecnológico que permite la correcta aplicación de los conceptos teóricos adquiridos previamente con el fin de generar mayor eficacia, efectividad, pro eficiencia y habilidad estando a la vanguardia tecnológica en cuanto a prácticas de manejo y gestión de recursos de cabina y seguridad operacional minimizando con esto el riesgo de incidentes o accidentes por error humano en las prácticas o ejercicios de vuelo real.

La propuesta de integrar un nuevo simulador de vuelo basado en IA se proyecta hacia el mejoramiento continuo de acuerdo a los imperativos institucionales, buscando superar estándares de calidad en la educación, y a su vez, procurando una formación integral del talento para dar respuestas a las demandas ciudadanas en áreas de convivencia y seguridad pública que actualmente afectan al país. La máquina Whirlwind I fue una de las primeras computadoras de alta velocidad, creada en Estados Unidos por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, durante la Segunda Guerra Mundial con la finalidad de servir como simulador de vuelo para el entrenamiento de pilotos bombarderos y para la interceptación del enemigo. Según Figueroa y Hernández (2004) estos simuladores evolucionaron al incluir elementos como gráficos, modelos de vuelo, sistemas de sonido aeroespacial, inteligencia artificial, armamento, simulaciones de aeropuertos, condiciones meteorológicas y control de tráfico aéreo, lo que ha resultado en la creación de productos cada vez más complejos.

Algunos de los componentes de la incorporación de la IA en el proyecto Whirlwind en el año 1977, fue transmitir una simulación precisa del comportamiento de la aeronave al piloto, como la carga de fuerza de control o "sensación" de control; ruido y vibración; indicación correcta de todos los instrumentos y la aceleración simulada producida por el movimiento de la cabina (Servomechanisms Laboratory Massachusetts Institute of Technology, 1977). Así mismo, el éxito de los pilotos entrenados con los simuladores Whirlwind se evidencia en su destreza mejorada, en la comprensión avanzada de situaciones de vuelo y en una formación más rentable y eficiente ya que reduce los costos asociados con el entrenamiento de vuelo en aeronaves reales.

Por otro lado, la incorporación de la simulación con la IA tiene la capacidad de minimizar riesgos en incidentes o accidentes en vuelo. Las Industrias Aeroespaciales Turcas (TAI)

desarrollaron el primer simulador basado en la inteligencia artificial de Turquía; con el desarrollo del programa Hurjet 270, se recopila información de los pilotos de prueba para optimizar tanto las funciones y diseño de la aeronave, como las habilidades multitarea del piloto (McLaren, 2020). Esto significa que la IA puede identificar que los errores que tienden a cometer los pilotos ciertos en determinadas situaciones, y así crear escenarios de entrenamiento ayuden a superar dichos errores.

Marco teórico

Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es un campo de la informática que se centra en desarrollar sistemas y programas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana. Estas tareas incluyen el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas, la percepción visual y auditiva, el reconocimiento del lenguaje natural y la toma de decisiones. Se considera que el nacimiento de la inteligencia artificial tuvo lugar en las décadas de 1940 y 1950, con pioneros como Alan Turing, un matemático londinense que propuso la idea de una máquina capaz de simular cualquier proceso mental humano. Para las décadas de 1950 y 1960, se desarrollaron los primeros programas de IA, como el "Logic Theorist" de Allen Newell y Herbert A. Simon, que demostraba los teoremas matemáticos o lógicos (Minotta, 2017). Hacia la década de 1970, la IA experimentó un período llamado "invierno de la IA" debido a la falta de avances significativos y expectativas no cumplidas, así que la financiación se redujo y su desarrollo tecnológico sufrió un retroceso significativo. Sin embargo, en 1980 la IA experimentó un renacimiento con lenguajes de programación y sistemas basados en el conocimiento y la resolución de problemas (Rainer & Rodríguez, 2019).

Para los años 1990 y 2000, se produjeron avances en el aprendizaje automático y la minería de datos, así que la IA empezó a integrarse en aplicaciones del mundo real, como motores de búsqueda, y a partir de la década de 2010, alrededor del mundo se ha visto un rápido progreso en áreas como el procesamiento de lenguaje natural y el aprendizaje profundo, es decir, un tipo de

aprendizaje automático que utiliza redes neuronales artificiales para aprender de los datos y lograr el reconocimiento de imágenes, de voz y el control de dispositivos sin guías humanos (Rainer & Rodríguez, 2019).

La IA también ha encontrado aplicaciones en una variedad de industrias y ha alcanzado un nivel de sofisticación significativo. En el área de la salud, puede realizar diagnósticos médicos, analizar imágenes médicas y personalizar los tratamientos. En el área de las finanzas es capaz de pronosticar el mercado, detectar fraudes y asesorar financieramente con sistemas automatizados. Gracias a la IA, las empresas de manufactura cuentan con controles de calidad y otros procesos automatizados, por otro lado, en la actualidad existen vehículos autónomos, asistentes de conducción, sistemas tecnológicos con reconocimiento facial, asistentes virtuales, procesadores de lenguaje natural, el comercio cuenta con sistemas de recomendación, análisis de comportamiento del consumidor, chatbots de servicio al cliente y en el ámbito educativo es posible contar con tutoría personalizadas, evaluaciones automatizadas y plataformas de aprendizaje adaptativo (Sossa, 2020).

Integración de la IA en simuladores de vuelo

La integración de la IA en la simulación de vuelo ha evolucionado para mejorar la autenticidad, personalización y eficacia del entrenamiento de los pilotos. La IA cuenta con entrenamiento personalizado para adaptar diversos escenarios de prueba según las habilidades y necesidades específicas del piloto. También existen sistemas de IA que actúan como instructores virtuales para brindar retroalimentación en tiempo real y ayudar a los pilotos a mejorar su desempeño, evaluar y corregir acciones o maniobras, proporcionando de esta forma, una experiencia de aprendizaje más interactiva (Aguado & Ruíz, 2013).

Los simuladores con IA también generan escenarios de vuelo dinámicos y adaptativos, teniendo en cuenta factores como el clima, el tráfico aéreo y emergencias simuladas. Esto aumenta la complejidad y la variedad de situaciones de entrenamiento. Algunos simuladores, como el simulador de vuelo comercial Airbus A320 de CAE en Canadá y el Boeing 737 de

Boeing en Estados Unidos, utilizan aprendizaje automático para mejorar la representación del comportamiento de las aeronaves, permitiendo una simulación más realista y precisa (Avenger Flight Group, 2023). La IA también facilita la conexión y colaboración entre múltiples simuladores, permitiendo entrenamientos en grupo o situaciones cooperativas, incluso se ha aplicado tanto en simuladores de vuelo para aeronaves tripuladas como en aquellos destinados a vehículos no tripulados (drones) para simular operaciones autónomas y para entrenar a operadores de drones en una variedad de escenarios (Nahum, 2016). En Estados Unidos se utilizan drones con IA para realizar tareas de vigilancia y seguridad, militares, de investigación y rescate, incluso empresas como Amazon han explorado el uso de drones con capacidad de aprendizaje automático para realizar entregas de paquetes de manera autónoma.

Finalmente, algunas de las tendencias emergentes de la IA aplicada a la simulación de vuelo, ha sido el aprendizaje profundo, también conocido como *Deep Learning*, el cual permite una representación más sofisticada de la respuesta de la aeronave a diferentes escenarios. La combinación de IA con tecnologías de realidad virtual y aumentada también ha mejorado la inmersión y la autenticidad de la experiencia de entrenamiento. En la actualidad, se está prestando más atención a la simulación de situaciones de emergencia y crisis utilizando IA para mejorar la preparación de los pilotos frente a escenarios inesperados, incluso se ha incorporado un sistema de integración de datos del mundo real, como condiciones climáticas en tiempo real o datos de tráfico aéreo para contribuir a una simulación más precisa y dinámica (Flightdeck Solutions, 2023).

Los simuladores de vuelo en los procesos formativos de los pilotos en Colombia

La historia colombiana en cuanto a su desarrollo tecnológico ha estado estrechamente relacionada en primera instancia con el compromiso que tiene el Estado en crear un territorio con garantías suficientes para que los ciudadanos se sientan seguros en su territorio (Badrán & Niño, 2020). Esta premisa no es ajena al contexto aeronáutico, pues los procesos de innovación y tecnificación de los procesos formativos en la aeronáutica fueron implementados primeramente por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), en la década de 1940, teniendo como objetivo que los

pilotos se adaptaran con más facilidad a los nuevos modelos de aviones militares que habían sido adquiridos para el mantenimiento de la seguridad nacional, pero que hasta entonces carecían de pilotos aptos para el ejercicio del pilotaje de tales aeronaves y los pocos que habían, eran pilotos formados en escuelas del extranjero, lo que incrementaba los gastos del gobierno y dilatava los procesos. A raíz de esta situación, y con el afán de tener pilotos aptos, el Estado colombiano, tomó la decisión de importar de los Estados Unidos de Norteamérica, los primeros simuladores de vuelo, los cuales eran muy sencillos y se enfocaban en desarrollar y perfeccionar las habilidades básicas de vuelo como el despegue, maniobras de nivelación de vuelo en cambios climatológicos abruptos y por supuesto el aterrizaje (González & Gutiérrez, 2021).

Sin embargo, para que nuevos modelos de simuladores de vuelo pudiesen estar nuevamente en el escenario colombiano, fue necesario que pasara una década más y que el segundo bélico conflicto mundial (Segunda Guerra Mundial) terminara, pues, con el conflicto internacional surgieron también grandes avances tecnológicos, entre estos nuevos simuladores de vuelo, cuya implementación fue más que probada por el ejército Norteamericano, con óptimos resultados, pues sus pilotos logran dominar el cielo en los campos de combate, es así como en la década de 1950, llegaron a Colombia nuevos y más avanzados simuladores, pues estos ya no solo se centran en explotar y perfeccionar habilidades básicas de vuelo, sino que lograban reproducir, desde condiciones climatológicas adversas y atípicas, hasta problemas de comunicación y falla en los instrumentos de navegación (Ministerio de Defensa, 2020). Estos simuladores ayudaron a mejorar la seguridad de los vuelos de la FAC y también ayudaron a reducir el costo del entrenamiento de pilotos (López & Martínez, 2020).

Por otra parte, sugerir que la implementación de simuladores de vuelo en el contexto nacional colombiano está supeditada al mismo desarrollo armamentístico nacional, se debe a que solo hasta la década de 1960, la aeronáutica civil colombiana y su crecimiento progresivo, permitió que las escuelas dedicadas a formar pilotos de forma particular antes de asumir el control de una aeronave en vuelo real deberían contar con simuladores de vuelo suficientes y modernos que permitieran recrear condiciones de riesgo, errores de comunicación, condiciones climatológicas adversas o problemas técnicos en aeronaves de transporte comercial, con las que los estudiantes

fuesen capaces de afrontar tales derroteros e improvisar soluciones en lapsos cortos y dar respuestas asertivas, ayudando así a optimizar los procedimientos en los sistemas de vuelo, aumentar la seguridad y hacer de los vuelos comerciales los medios de transporte más seguros, cómodos y eficientes en la nación (Hernández, 2020). En términos económicos la implementación de los simuladores de vuelo también logró un impacto positivo, pues no solo permitió que más personas del común tuviesen acceso a la formación académica como piloto, un fenómeno que generó ingresos importantes en el sector de la aviación y aumentó considerablemente la cantidad de pilotos en el escenario nacional, por otra parte también redujo los costos en los procesos formativos referentes al entrenamiento, tal cual sucedió con la Fuerza Aérea Colombiana durante la década de 1940 (Ramírez & Sánchez, 2019).

Una vez ampliado el escenario de implementación de los simuladores de vuelo en el contexto nacional y una vez regulado tanto en el sector privado como en las fuerzas militares; viene para Colombia, el periodo de modernización, gracias a los avances tecnológicos mundiales, pues con los desarrollos en robótica e Inteligencia Artificial (IA), fue posible iniciar un periodo de evolución tecnológica en cuanto a instrumentos de comunicación, orientación de vuelo y predicción climatológica más precisos, que para la década de 1970 y 1980 llegaron a la nación al mismo tiempo que en otras latitudes (Lozano, et al., 2022).

El acelerado ingenio humano ya desarrollaba las bases de la Inteligencia Artificial (IA), una herramienta indispensable en la conducción y pilotaje de cualquier vehículo, ya sea naval, terrestre o aéreo, que no solo puede aumentar el tiempo de suficiencia del piloto, sino que también puede aprender junto con él y apoyarlo reduciendo la actividad en tareas secundarias, con lo cual se minimiza el error humano, las distracciones y el piloto no solo puede descansar, sino centrarse exclusivamente en el pilotaje; bajo este principio y antes de implementarse este tipo de sistema, las industrias dedicadas a la seguridad y desarrollo de ciencia y tecnología deciden probar este prototipo de inteligencia artificial (IA), articulándolo primeramente en los simuladores de vuelo que siempre han dado óptimos resultados, y es así como de una manera explosiva, se da un salto enorme en la evolución de los simuladores de vuelo tanto en varios países donde llegaron estas nuevas versiones de simuladores de vuelo, más sofisticadas, sencillas,

con gráficos realistas, sistemas de retroalimentación, ayuda y aprendizaje logarítmico, ayudando así a la historia de la aviación colombiana a modernizarse y a estar a la vanguardia con las dinámicas modernas del mundo (Barbosa & Romero, 2023).

Los simuladores de vuelo han impactado de tal manera el escenario colombiano que no solo las aerolíneas, sino que también la Fuerza Aérea (FAC), modernizaron sus flotas de aeronaves mucho tiempo después que los pilotos estaban capacitados y preparados para volar las aeronaves, caso contrario a lo sucedido en la década de 1940 donde las aeronaves eran sofisticadas y los pilotos no poseían el conocimiento o tenían la pericia para controlarlas; pues con la implementación de la Inteligencia Artificial (IA), se potencializaron las habilidades de los pilotos y fue posible formar a un número mayor de ellos, es decir, que entre la década de 1970 y 1980 se formaron la mayor cantidad de pilotos colombianos que constituyeron el crecimiento de la historia de la aeronáutica colombiana de 1990 (Carvajal & Torres, 2022).

Ya para la década de 1990 los simuladores de vuelo habían ganado un puesto inamovible en los procesos formativos y un elemento indispensable para el reentrenamiento, así como un excelente elemento evaluador para aprobar la suficiencia del piloto y su capacidad de vuelo conforme al paso de la edad, es decir, los simuladores de vuelo en Colombia cobran tal importancia que miden y estandarizan la aptitud y habilidad del piloto que esta esté intacta con el paso de los años (Aparicio, 2016). Con la entrada del nuevo milenio, la década del 2000, y gracias a los fenómenos de la globalización y la digitalización, que han creado pautas y parámetros normativos internacionales, los simuladores de vuelo, se han convertido en una herramienta indispensable y obligatoria para los procesos de formación de pilotos, además que los nuevos simuladores según el marco de regulación internacional debe contar con un sistema operativo dotado de alta capacidad de emulación de realidad valiéndose de elementos y gráficos visuales y auditivos de alta definición que también improvisen y analicen datos en los cuales se detecten o identifiquen las dificultades de los pilotos y así se posible corregir. Estos nuevos simuladores han logrado posicionar a la industria aeronáutica como el medio de transporte más eficiente en el mundo y con un alto grado de seguridad, pues según las estadísticas hay mayor probabilidad de morir en una colisión automovilística que durante un vuelo. En conclusión, los

simuladores de vuelo son una herramienta esencial para la formación de pilotos y seguirán siendo una parte importante de la aviación colombiana en el futuro (Barbosa & Romero, 2023).

Aplicación de inteligencia artificial (IA) en los simuladores de vuelo

En un primer momento la introducción de la inteligencia artificial (IA) en el contexto aeronáutico se dio como una herramienta de seguridad diseñada como apoyo para el piloto y para automatizar diferentes funciones que le pueden generar distracción, con lo cual no solo se aumenta la eficiencia de vuelo, la seguridad del oficio aeronáutico, se reduce el error humano y se le da una mejor calidad de vida laboral a los pilotos (De Bie, 2020). En definitiva la Inteligencia Artificial (IA), durante sus inicios estaba más pensada en un sistema automático de vuelo o también denominado piloto automático, sin embargo, las múltiples posibilidades que se abrieron al implementar este desarrollo tecnológico se fue ampliando al punto en que mediante recreaciones constantes de condiciones comunes de vuelo, análisis de datos climatológicos e identificación de patrones de maniobra, la Inteligencia Artificial (IA) fue creciendo de una manera exponencial, llegando a tal punto de poder ser programada con anticipación para volar con tiempo perfecto y sin ninguna complicación en un espacio común (Chen, et al., 2022).

Este experimento adelantado por la CAE Oxford Aviation Academy en el año 2000, generó una nueva idea que consistió en que, si los pilotos pueden mejorar sus capacidades de vuelo en espacios simulados o utilizando los simuladores de vuelo, pues la Inteligencia Artificial (IA) también podría lograrlo, podría alimentarse de los mismos datos y patrones de comportamiento que tienen los pilotos y aprender de forma paralela a medida que va involucrando nuevos retos o elementos distractores. Fue entonces como a partir de este estudio los simuladores de vuelo con inteligencia artificial entraron en operación con el fin de no solo fortalecer las habilidades del piloto sino fortalecer a la Inteligencia Artificial (IA) en sí misma y así actualizar los sistemas de vuelo (CAE Oxford Aviation Academy, 2020).

La Inteligencia Artificial (IA), no solo está desarrollada en procura de imitar, aprender o recrear los comportamientos o patrones de vuelo de los pilotos que entrena o que evalúa, también

tiene un segundo propósito el cual consiste en recrear con exactitud, precisión y alta probabilidad situaciones y escenarios en los que comúnmente se encontraría un piloto; puesto que el alto realismo con el que están diseñados estos simuladores de vuelo de punta, permite maximizar aspectos como el sonido, la imagen de alta definición, la variabilidad térmica, disminución del oxígeno y las cabinas sensibles al movimiento, logrando así generar en la psique de los pilotos un alto impacto emocional y sensitivo que conlleva a que el cuerpo de los pilotos evaluados a manifestar altas descargas de adrenalina, las cuales repercuten a su vez en la toma de decisiones de los pilotos y en el comportamiento humano en un momento de alta tensión (Rodríguez, 2021). Con esto nuevos entornos digitales de amplio realismo, es posible hacer estudios concluyentes tanto a nivel de capacidad y competencia de vuelo, en el panorama psicofisiológico al detectar alteraciones y dificultades comportamentales o físicas en los pilotos, que de poder efectuarse en el aire o en un entorno real resultaría bastante riesgoso y muy costoso (Romero, 2021).

Una de las formas en que la IA se utiliza en los simuladores de vuelo es para generar entornos virtuales realistas. Estos entornos pueden ayudar a los pilotos a aprender a volar en condiciones climáticas y de vuelo que de otro modo serían demasiado peligrosas o costosas para experimentar en el mundo real (Bard, 2023) (p. 60).

Estos nuevos y novedosos prototipos de simuladores de vuelo son bastante particulares pues no tienen en sí mismo un escenario único, sino que por el contrario este se va modificando conforme se van identificando y analizando los patrones de vuelo del piloto evaluado, así de esta forma una hora de vuelo en el simulador, resulta ser un recorrido progresivo en el cual a medida que el piloto va avanzando también se van complejizando las condiciones de vuelo respecto de sus capacidades, pues la inteligencia artificial puede anticipar los movimientos y las posibles decisiones del piloto, entonces así mismo va modificando el recorrido, haciendo que el periodo de entrenamiento sea único y personalizado, esta experiencia es tan particular que incluso aun cuando el piloto volviese a reiniciar el simulador, trazar el mismo destino, pero las condiciones de vuelo serían totalmente diferentes (Díaz C. , 2021). Es así como la Inteligencia Artificial (IA), funciona y se desarrolla modificando comportamientos corrigiendo patrones, evidenciando

errores y ayudando a la optimización y el crecimiento de las habilidades de los pilotos (Li, et al., 2019).

De acuerdo con Teigens, et al., (2020) estos son solo algunos ejemplos de cómo la Inteligencia Artificial (IA) está teniendo un impacto positivo en el entrenamiento de pilotos de todo el mundo:

Generador de entornos virtuales realistas: Los simuladores de vuelo que utilizan IA pueden generar entornos virtuales realistas que incluyen condiciones climáticas, terreno y otros obstáculos. Esto ayuda a los pilotos a aprender a volar en condiciones que de otro modo serían demasiado peligrosas o costosas para experimentar en el mundo real.

Proveedor de retroalimentación personalizada: Los simuladores de vuelo que utilizan IA pueden proporcionar retroalimentación personalizada a los pilotos. Esta retroalimentación puede ayudar a los pilotos a identificar y corregir sus errores, lo que puede mejorar su rendimiento y seguridad.

Creación de escenarios de entrenamiento personalizados: Los simuladores de vuelo que utilizan IA pueden crear escenarios de entrenamiento personalizados. Estos escenarios pueden ayudar a los pilotos a prepararse para situaciones específicas que pueden enfrentar en el mundo real, como aterrizajes de emergencia o vuelos en condiciones climáticas adversas.

Como se ha podido evidenciar a lo largo de esta investigación y reconstrucción documental, es posible sostener que a medida en que el desarrollo tecnológico moderno va creciendo es bastante probable que la IA continúe fortaleciéndose y creciendo a pasos agigantados incluso al punto de ser autómatas y dirigir aeronaves por sí sola, pues tal cual como se ha venido evidenciando en los estudios de investigación en robótica, inteligencia artificial e ingeniería que han servido de base para la materialización de este documento, instituciones como la NASA, la FAA, EASA y entidades académicas como el MIT, Harvard u Oxford, concluyen en que los avances en la ciencia y la tecnología son los principales responsables en la evolución de la industria aeronáutica

mundial y son los simuladores de vuelo la principal estrategia que permite instruir a los pilotos y hacer que sus habilidades se potencialicen (Teigens, et al., 2020).

Sin embargo, no se debe olvidar el amplio aporte del factor humano, pues es su ingenio finalmente el que responde e improvisa y proporciona respuestas ante cualquier dificultad, además de ser el principal generador de confianza, pues si bien actualmente se le confía a la Inteligencia Artificial (IA), el 90% de los procesos formativos de los pilotos, aún no ha llegado el momento en que el ser humano confíe su vida a la o las de sus seres queridos a la IA y su capacidad de pilotaje, por lo tanto, y cerrando un paradigma aún falta bastante tiempo antes de que el oficio del piloto sea reemplazado por la Inteligencia Artificial (Gómez, 2021).

Clasificación de los simuladores de vuelo para el entrenamiento de pilotos

Existen diferencias entre simuladores de vuelo AATD, FTD y FFS, las cuales radican en la complejidad de sus características. El FFS sigue siendo el más avanzado y el AATD el más básico en términos de representación de la aeronave y capacidad de entrenamiento.

AATD (Advanced Aviation Training Device).

Los AATD son simuladores de vuelo de nivel inferior, aunque proporcionan un entrenamiento realista, está diseñado para ciertos tipos de aeronaves y misiones. Estos simuladores incluyen pantallas, controles, sistemas de navegación, movimiento de plataforma y capacidad para reproducir con precisión y de manera realista todos los aspectos y detalles relevantes de la aeronave, permite una amplia gama de procedimientos de vuelo, desde operaciones normales hasta situaciones de emergencia, sin embargo, ofrece una representación más básica de la cabina de vuelo y la representación visual adecuada para el entrenamiento, puede ser menos detallada que la de un FTD (Baquero & León, 2022).

FTD (Flight Training Device).

Estos dispositivos son de nivel intermedio y están diseñados para proporcionar un entorno de simulación que imita las condiciones de vuelo de una aeronave de manera más avanzada que un simulador de entrenamiento básico, pero sin alcanzar el nivel de sofisticación de un simulador de vuelo completo como el FFS. Ofrecen una representación visual realista del entorno, incluyendo paisajes, aeropuertos y condiciones meteorológicas. Tienen una cabina de vuelo simulada que imita la disposición de controles y paneles de instrumentos de una aeronave específica. Algunos FTD pueden incluir una plataforma de movimiento para replicar sensaciones físicas de vuelo, aunque en menor medida que los simuladores de vuelo de alta clasificación (Avenger Flight Group, 2023).

FFS (Full Flight Simulator).

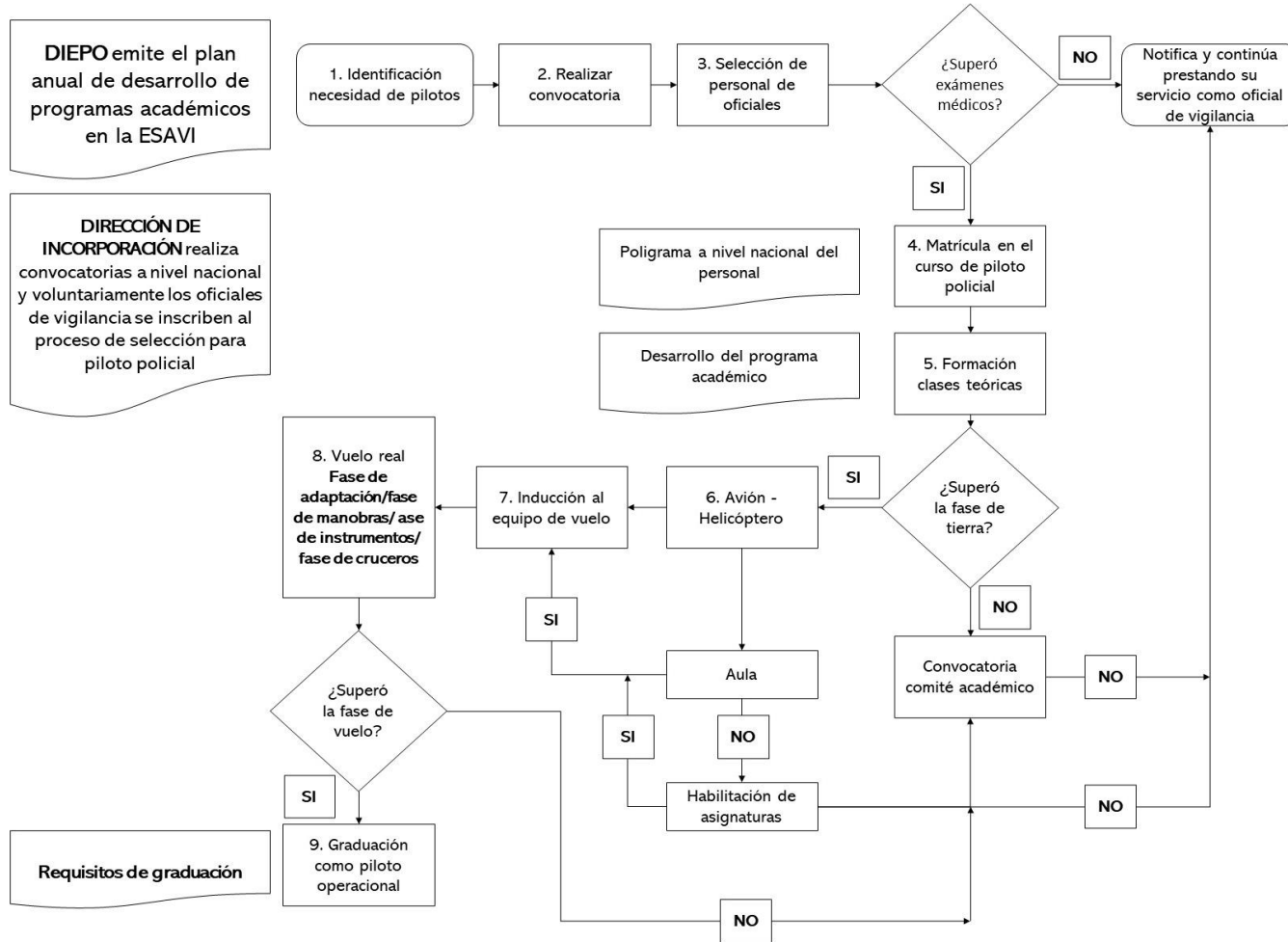
Los FFS son simuladores de vuelo de nivel máximo, pueden integrar hardware y software para replicar aspectos clave del vuelo y proporcionar una experiencia de entrenamiento mucho más efectiva. Tiene una reproducción exacta de la cabina de vuelo, una representación visual altamente realista, las sensaciones físicas de vuelo son más amplias y están certificados para cumplir con estándares muy estrictos, como los establecidos por la Administración Federal de Aviación (FAA) en Estados Unidos (Medios Soluciones Holding Group, 2023).

Proceso de formación del piloto de la Escuela de Aviación Policial

Anualmente la Dirección de Educación Policial (DIEPO) expide el plan anual de educación, el cual contiene la programación académica para los programas de formación y especialidades, cada escuela revisa sus metas de personal a capacitar o formar y realiza las respectivas convocatorias para seleccionar el personal de estudiantes, en este caso para el personal de pilotos, una vez se inscribe el personal se inicia con el proceso de selección, el cual consta de exámenes médicos, pruebas psicotécnicas y verificación de requisitos de ingreso, finalizado el proceso de selección se notifica al personal que superó el proceso y a aquellos que por una u otra razón no fue seleccionado (Figura 1).

Figura 1.

Diagrama de flujo formación del piloto policial en la ESAVI



Nota. Elaborado conforme al plan anual de desarrollo de los programas académicos de la Escuela de Aviación Policial por parte de la Dirección Nacional de Escuelas (DIEPO)

El personal que superó el proceso de selección, se matricula e inicia el curso de piloto policial con la fase teórica (tierra), el personal que culmina satisfactoriamente esta fase pasa a la siguiente fase (vuelo), los que no, se les realiza un comité académico y depende el número de asignaturas que haya perdido se autoriza para que la o las habilite, si pasa continua la siguiente fase, sino se le realiza un comité académico de pérdida de calidad de estudiante y es presentado a la Dirección de Talento Humano para ser ubicado en otra unidad policial (DIEPO, 2023).

El personal que superó la fase teórica (tierra), escoge su equipo de vuelo, para iniciar con la fase de vuelo, posteriormente se le da la inducción al equipo (Avión - Helicóptero) y se inicia la práctica de vuelo, la cual consta de una fase de adaptación, maniobras, instrumentos y cruceros todas las anteriores apoyadas con el equipo tecnológico simulador de vuelo RedBird FMX, cada una de estas fases al finalizar tiene una lista de chequeo que debe superar por el estudiante, en caso contrario se le realiza un comité académico y de acuerdo al caso se le autoriza o no, horas de vuelo adicionales o de simulador, posterior a ello se le realiza nuevamente el chequeo de la fase y si lo supera continua a la siguiente fase, sino se le realiza un comité académico de pérdida de calidad de estudiante y es presentado a la Dirección de Talento Humano para ser ubicado en otra unidad policial. Ya finalizado todo el curso piloto policial en su fase teórica (tierra) y fase práctica (vuelo), se realiza la verificación de los requisitos de graduación, para culminar con la ceremonia de graduación como piloto policial, dónde se le expide el respectivo certificado que lo acredita como piloto (DIEPO, 2023).

Descripción Técnica del Redbird FMX

El Redbird FMX es un simulador de tipo AADT utiliza un hardware de alta calidad para proporcionar una experiencia de vuelo realista. Esto incluye controles de vuelo físicos, paneles de instrumentos y una cabina que simulan las condiciones de vuelo de manera precisa. Cuenta con una visualización avanzada que utiliza gráficos de alta resolución para recrear paisajes y entornos realistas (Figura 2). Las imágenes se generan en tiempo real para proporcionar una representación detallada del entorno de vuelo.

Figura 2.

Cabina de simulación RedBird FMX



Nota. En el Redbird FMX, el instructor desempeña un papel fundamental al proporcionar una orientación inicial sobre el simulador y explicar los procedimientos operativos esenciales, tiene la capacidad de personalizar el entrenamiento según las habilidades, experiencia y necesidades específicas de cada piloto, ofrece retroalimentación inmediata y asegura una resolución rápida y eficiente para corregir errores y mejorar el rendimiento del piloto en las pruebas. Fuente: Los autores.

El Redbird FMX cuenta con un sistema de movimiento para simular las sensaciones físicas del vuelo. Este sistema puede incluir movimiento lateral, vertical y de balanceo para proporcionar una experiencia más inmersiva. Cuenta con una cabina ergonómica que se asemeja a una cabina de aeronave real, proporcionando una experiencia de vuelo lo más auténtica posible. Está diseñado para ser configurable y adaptable a diferentes escenarios de vuelo de forma manual, por parte de una persona externa (Figura 3).

Figura 3.

Configuración manual del Redbird FMX



Nota. El Redbird FMX cuenta con una interfaz que permite a una persona externa, como un instructor o un técnico, tener control remoto sobre diversas funciones del simulador. Esta persona puede ajustar parámetros del escenario de vuelo, como condiciones meteorológicas, hora del día, ubicación y otros factores ambientales que influyen en la simulación. También puede supervisar y evaluar el desempeño del piloto durante la simulación, lo que facilita una retroalimentación más detallada y personalizada para mejorar el entrenamiento. Fuente: Los autores

Algunas de las funcionalidades principales del Redbird FMX en la Escuela de Aviación Policial, es que cuenta con una gran variedad de tareas, como despegues, aterrizajes, navegación y emergencias. Esto es particularmente útil para el entrenamiento inicial y recurrente de los pilotos policiales. Los instructores pueden configurar escenarios específicos para adaptarse a las necesidades de entrenamiento de los pilotos. Esto puede incluir condiciones meteorológicas adversas, fallos de sistemas, y otros eventos para mejorar la preparación en situaciones del mundo real. También cuenta con un sistema de registro y análisis de vuelo que permite a los pilotos revisar su rendimiento y a los instructores evaluar el progreso de los pilotos en fase de prueba, sin embargo, no está diseñado para el entrenamiento en grupo, permitiendo que varios simuladores se conecten entre sí para simular vuelos en formación y otros escenarios de vuelo cooperativo.

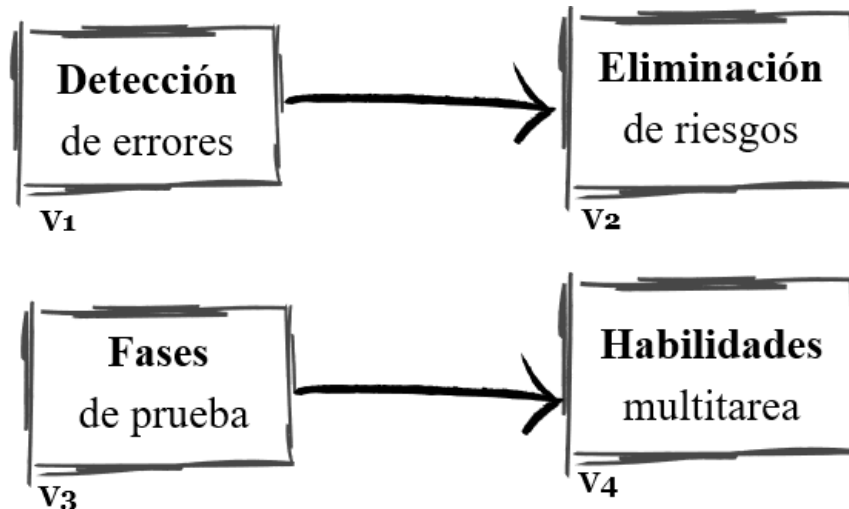
El RedBird FMX es el simulador de vuelo más reciente que se utiliza en la Escuela de Aviación Policial de Colombia (ESAVI) para entrenar a los futuros pilotos de la Policía Nacional. El simulador está diseñado para recrear las condiciones de vuelo en cualquiera de las fases, lo que permite a los pilotos practiquen maniobras avanzadas en un entorno seguro. Está equipado con un sistema de movimiento que permite al piloto experimentar sensaciones durante las maniobras y con un sistema de visualización que proporciona una imagen realista del entorno exterior. El entrenamiento se lleva a cabo inicialmente con una fase teórica (Briefing) donde los estudiantes reciben instrucción sobre los principios de vuelo y los riesgos asociados al mismo, y una fase práctica donde los estudiantes desarrollan las tareas o maniobras en el simulador. Como parte de la formación de pilotos, los estudiantes comienzan con maniobras básicas, como virajes, ascensos, vuelo recto y nivelado entre otras y luego progresan a maniobras más complejas, como barrenas, virajes escarpados, chandeleo despegues de máximo rendimiento y aterrizajes en situaciones adversas. El entrenamiento en el RedBird FMX es un requisito obligatorio como lo establece la guía de Entrenamiento para Pilotos Básicos de la Policía Nacional, fase Instrumentos. Los estudiantes que no aprueban el entrenamiento no son autorizados a volar en condiciones instrumentos. Finalmente, este simulador permite a los pilotos entrenarse en maniobras peligrosas y complejas en un entorno seguro, lo que contribuye a mejorar su seguridad y eficacia en el vuelo (Redbird Flight Simulations, 2020).

Hipótesis

La simulación de vuelo con IA que integre un sistema de detección de errores realizados por los pilotos durante los test de simulación y fases de prueba para el control de las condiciones meteorológicas, mecánicas, de combustible y otras, durante y previo al vuelo, contribuirá a la eliminación de riesgos durante el desarrollo de las operaciones aéreas y a la potenciación de habilidades multitarea del cuerpo de aviación policial para la toma de decisiones en situaciones normales, anormales o de emergencia.

Figura 4.

Hipótesis de tipo exploratoria



Nota. La hipótesis planteada es de tipo exploratoria. Comprende una relación entre varias variables que a su vez predicen las ventajas de integrar un simulador de vuelo basado en inteligencia artificial con un sistema de detección de errores (V1) y fases de prueba (V3) en el entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos de la Escuela de Aviación Policial para eliminar riesgos en las operaciones aéreas (V2) y potenciar las habilidades multitarea (V4).

Fuente: Los autores

Variables

Las variables de esta investigación abordan campos de conocimiento explicados desde la perspectiva teórica y desde las experiencias de los pilotos de la ESAVI en la simulación de vuelo. A continuación, se presenta su definición conceptual para señalar cómo se entienden; así como su definición operacional, para establecer cómo se pueden medir.

Conceptualización

La **detección de errores de la IA** se entiende como un sistema de identificación de fallas basado en reglas y patrones asociados a errores que se pueden cometer durante las pruebas de simulación que recrean un entorno de vuelo real en la que participan pilotos que aprenden habilidades básicas de vuelo y pilotos con experiencia que usan los simuladores para mejorar sus habilidades y prepararse para situaciones de emergencia. De acuerdo con Martínez (2017) la IA puede detectar errores como la falta de comunicación, de atención frente a los factores que

generan peligros potenciales, de conocimiento de los sistemas de la aeronave, de experiencia en situaciones de emergencia, de concentración y de disminución de la capacidad de reacción, negligencia o descuido; como el hecho de no colocar el tren de aterrizaje antes de aterrizar.

Estos errores generan **riesgos en operaciones aéreas**, también denominada cadena del error, que hace referencia a incidentes no planificados que ocurren durante el vuelo de una aeronave y que pueden resultar en la muerte o la lesión de uno o más tripulantes, o en daños importantes a la aeronave, los cuales pueden ser ocasionados por error humano, fallas mecánicas y condiciones meteorológicas adversas (Escuela Militar de Aviación, 2022). La simulación con IA integra **fases de prueba**, también conocida como dificultad dinámica que permite evaluar y recopilar información de la capacidad que tienen los pilotos para identificar y responder a diversas amenazas de manera efectiva en escenarios simulados con tormentas eléctricas, fuertes ráfagas de viento, niebla, fallas comunes en aviones antiguos o que no han sido bien mantenidos, terrorismo, entre otros.

Para reducir el riesgo de accidentes aéreos durante las actividades de apoyo a la seguridad ciudadana de Colombia, los pilotos de la Policía Nacional deben estar bien entrenados, esto significa que deben adquirir y capacitarse en **habilidades multitarea** para controlar varios instrumentos a la vez, dar instrucciones, interpretar mapas e indicaciones de control aéreo, manipular tecnología avanzada con precisión, ser idóneos en técnicas de vuelo, procedimientos de seguridad y tomar las precauciones necesarias para volar de forma segura.

Operacionalización

Se realiza mediante la Escala de Likert. Tiene como objetivo explorar con un **grupo de pilotos estudiante/básicos, copilotos, pilotos en comando, instructores y estandarizador** de la ESAVI el nivel de acuerdo o desacuerdo frente a una serie de enunciados que contrastan las características del simulador RedBird FMX con la simulación de basada en IA, la cual puede mejorar la experiencia de los pilotos en las tareas de simulación, mediante la recopilación de

errores y la asignación de una amplia variedad de fases de prueba que contribuyan a la eliminación de riesgos y potenciación de habilidades multitarea en las operaciones aéreas.

Metodología

Enfoque y alcance

Para la elaboración de este documento académico se utilizó un estudio de tipo exploratorio, con enfoque mixto. Este consiste en examinar un tema poco estudiado y tiene como finalidad familiarizar a la población objeto de estudio con fenómenos o campos de conocimiento relativamente desconocidos para obtener información a partir de las experiencias, creencias y perspectivas, de esta forma impulsar la posibilidad de realizar un análisis más completo respecto al contexto de investigación o a las prioridades encontradas para futuras investigaciones (Hernández, et al., 2017). El análisis con enfoque mixto es de tipo inferencial; quiere decir que comprende una fase fundamental en la estadística y la investigación que se utiliza para sacar conclusiones más allá de los datos observados o para tomar decisiones basadas en evidencia recopilada.

En la actualidad, uno de los proyectos más importantes de la ESAVI es el desarrollo de un simulador de vuelo de helicóptero que utiliza la tecnología de realidad virtual (VR) para entrenar a los pilotos en condiciones climáticas y entornos que sería demasiado peligroso o costoso recrear en el mundo real (Figuroa, et al., 2020), y en cuanto a la optimización de los programas de simulación de vuelo, la ESAVI se encuentra comprometida con el estudio de la IA para brindar mayor realismo, eficacia, seguridad y pilotos más capacitados y competentes, por esta razón el enfoque exploratorio es pertinente, pues ayuda a comprender mejor los beneficios específicos de utilizar la IA para el entrenamiento de vuelo a partir de un sistema que incluya la recopilación de información y datos provenientes de la experiencia directa de los pilotos de la ESAVI en la simulación.

Tal como lo menciona Hernández, et al., (2017) este enfoque constituye una “investigación preliminar para aclarar la naturaleza exacta del problema a resolver” (p. 100), por tanto, el presente trabajo investigativo se configura como una de las primeras etapas de un proyecto institucional que tiene como alcance adaptarse a la industria 4.0 y revolucionar los entornos de simulación con la IA.

De acuerdo con este enfoque exploratorio, para dar cumplimiento al **objetivo general** y caracterizar el funcionamiento que tiene la simulación de vuelo basado en IA y su contribución a la optimización del entrenamiento y reentrenamiento de pilotos en la Escuela de Aviación de la Policía Nacional, fue necesario ejecutar el desarrollo de los objetivos específicos así:

Etapas de indagación (objetivo específico 1)

En esta etapa se indagaron las características del RedBird FMX, el simulador con el que actualmente cuenta la ESAVI para la formación de los pilotos policiales en la ESAVI. Este dispositivo funciona como estrategia didáctica y pedagógica para la adquisición y fortalecimiento de habilidades de navegación y maniobra de los sistemas de las aeronaves. Es un simulador de movimiento completo, cuenta con un sistema de visualización de alta resolución, un sistema de control de vuelo similar al de un avión real y varios escenarios de vuelo para entrenar a los pilotos (Clavijo, et al., 2018); a partir de las características de este simulador, el alcance de este objetivo consistió en indagar las desventajas del simulador RedBird FMX que limitan la optimización del entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la Escuela de Aviación de la Policía Nacional, siendo la detección de los errores, los riesgos y amenazas una de las variables a medir, de acuerdo al conocimiento y experiencia de los pilotos en las tareas de simulación.

Etapas de comparación (objetivo específico 2)

De acuerdo con Pérez, et al (2021) la IA es una tecnología que tiene el potencial de revolucionar la forma en que se utilizan los sistemas de simulación basados en realidad virtual (RV), por esta razón, la segunda etapa de esta investigación estuvo enfocada en comparar el

funcionamiento del RedBird FMX con la simulación basada en inteligencia artificial. Así pues, este objetivo tuvo como alcance recopilar desde la experiencia de los pilotos de la ESAVI información sobre cómo el RedBird FMX emite las dificultades dinámicas, qué tipo de incidentes no planificados experimentan en las pruebas de simulación y por qué es importante proporcionar una experiencia de vuelo más realista y envolvente mediante algoritmos de aprendizaje automático que generen entornos de vuelo más precisos y detallados que los entornos generados por ejecución manual.

Etapa final; propuesta (objetivo específico 3)

Con el fin de proponer el uso de la inteligencia artificial en la simulación de vuelo para la capacitación, entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos de aviación policial fue necesario indagar el nivel de acuerdo de los pilotos con la integración de un sistema de simulación que permita extraer datos de la pericia de cada piloto y crear entornos de vuelo más precisos y realistas, así como mayor personalización, pues a comparación de un simulador de categoría AATD como el RedBird FMX, la IA proporciona un alto grado de realismo, uso de gráficos y efectos de sonido realistas para crear una experiencia de vuelo similar a la de un vuelo real, por esta razón, este objetivo tuvo como alcance hallar las características del software que se requieren para detectar, evaluar y retroalimentar las habilidades de vuelo del cuerpo de aviación policial en las tareas de simulación.

Población y muestra

La población objeto de estudio fueron 77 pilotos con accesos a los controles adscritos a la ESAVI en el tercer trimestre del año 2023. Posteriormente se utilizó un muestreo aleatorio simple que consistió en seleccionar un subconjunto de pilotos de la población objeto, a través del cálculo del tamaño de la muestra, mediante la fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n = tamaño de muestra

N = tamaño de población

Z = nivel de confianza

e = error de estimación

$p = q$ = probabilidad del evento estudiado

Teniendo en cuenta el tamaño de la población total de pilotos de la ESAVI (77) en el tercer trimestre del año 2023, se estableció un nivel de confianza estándar del 95% ($Z = 1,96$) y un margen de error del 10% debido a que la población puede no conocer las características de la IA o haber tenido experiencia con la simulación basada en IA, además, en el contexto de formación, no se han impartido cursos formales de esta tecnología. Por último, se estableció una probabilidad estándar “ p ” y “ q ” del 0,5.

Reemplazando así:

$$n = \frac{77 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,1^2 * (77 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

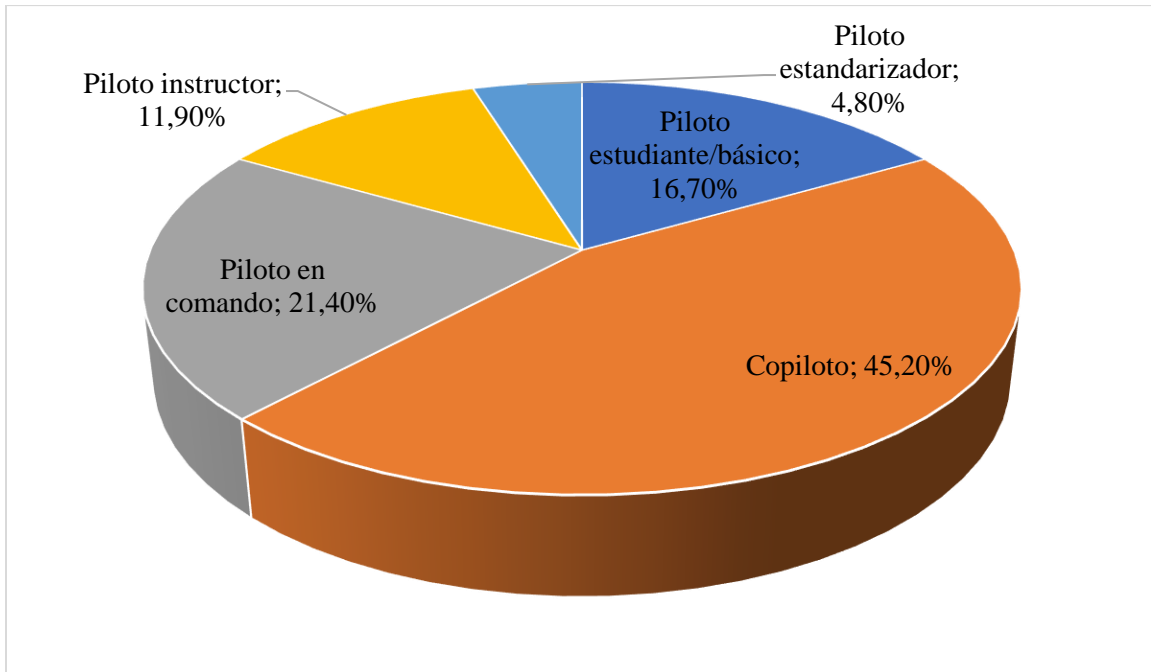
$$n = 42$$

El valor de muestra necesario para este estudio corresponde a 42

No obstante, la muestra participante fue de 34 pilotos de género masculino (81%) y 8 pilotos de género femenino (19%); para un total de 42 encuestados. El rango de edad de 26 participantes es de 25 a 34 años (61,9%) y el de 16 participantes es de 35 a 44 años (38,1%). Por otro lado, tal como se muestra en la figura 2, el 45,2% son copilotos, el 21,4% son pilotos en comando, el 11,9% son pilotos instructores, el 16,7% son pilotos estudiantes y el 4,8% pertenece a la categoría de piloto estandarizador (Figura 5).

Figura 5.

Categoría del piloto

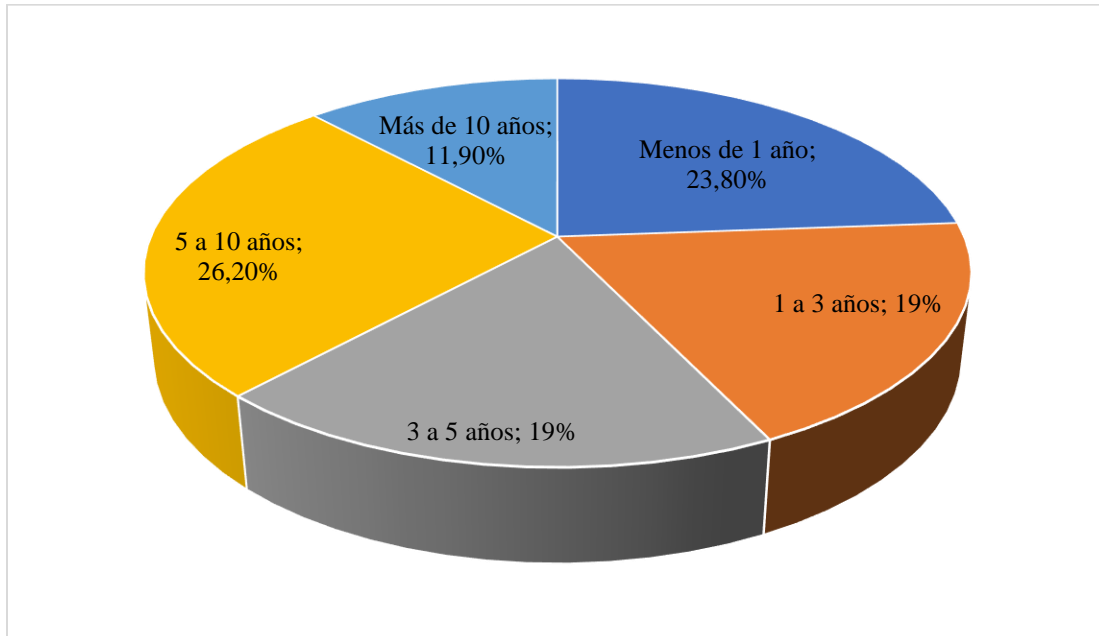


Nota. Este gráfico indica que 19 de los pilotos encuestados pertenece a la categoría de copiloto, 9 a la categoría de piloto en comando, 5 son pilotos instructores, 7 son pilotos básicos o estudiantes y 2 pertenecen a la categoría de piloto estandarizador. **Fuente:** Los autores

Por otro lado, respecto al tiempo de experiencia de la muestra participante el 23,8% corresponde a menos de 1 año, el 26,2% tiene experiencia de 5 a 10 años, el 19% de 3 a 5 años, el otro 19% de 1 a 3 años y el 11,9% más de 10 años (Figura 6).

Figura 6.

Años de experiencia profesional como piloto



Nota. Este gráfico evidencia que 10 de los pilotos encuestados tiene menos de 1 año de experiencia profesional como piloto, 8 de ellos tienen de 1 a 3 años, otros 8 cuentan con 3 a 5 años, 11 con 5 a 10 años y 5 con más de 10 años.
Fuente: Los autores

Instrumentos

Para la medición de cada una de las variables se utilizó un instrumento de investigación psicométrico conocido como Escala de Likert o escala multi elemento que tiene como objetivo medir la experiencia e interacción de los pilotos con los simuladores convencionales para hallar la brecha entre lo que existe y lo que se necesita. Cada premisa permite identificar el contraste entre el simulador RedBird FMX y la simulación basada en IA.

El cuestionario está conformado por proposiciones afirmativas en las que los participantes expresan su grado de acuerdo o desacuerdo. Cada declaración está conformada por una escala valorativa donde 1 es “totalmente en desacuerdo”, 2 “en desacuerdo”, 3 “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, 4 “de acuerdo” y 5 “totalmente de acuerdo”. El cuestionario se estructuró mediante la herramienta *Google Forms* que posteriormente fue difundida a los correos institucionales de la población de pilotos de la ESAVI (Anexo A)

Este instrumento de medición fue validado por el Director de la Escuela de Aviación Policial, oficial con la máxima experiencia entre los pilotos con accesos a los controles, especializado en administración policial, entrenamiento de simulador piloto inicial DASH-8 300 DRY, gestión de recursos corporativos aeronáuticos CRM, calificado como piloto en comando al equipo CESSNA 206T y con experiencia profesional en control aeroportuario y jefe de operaciones de la Compañía Aérea Antinarcóticos de Aviación Bogotá. Previo consentimiento informado (Anexo B) y a través de los criterios de pertinencia, coherencia y lenguaje a los que se les asignó una escala de calificación es de 1 a 3, siendo 3 el valor máximo asignado y 1 el menor, se estableció la aceptación de cada una de las declaraciones por parte del evaluador, así mismo, se tuvo en cuenta las sugerencias que orientaron la modificación, ajuste y replanteamiento de algunas declaraciones (Anexo C).

Técnicas de análisis de información

Se utilizó la técnica de análisis de conglomerado, definida por Hinojosa y Barrera (2021) como una técnica estadística que se utiliza para agrupar los datos de los encuestados en función de las respuestas seleccionadas por la muestra a una escala de Likert. Para ello, se realizó un análisis de frecuencia que consistió inicialmente en determinar cuántos encuestados seleccionaron cada opción de la escala, posteriormente se representó cada cantidad en porcentaje con el fin de comprender mejor la distribución de las respuestas, finalmente, se presentaron los resultados de la encuesta en gráficos que por un lado evidencian uniformidad, es decir, que la escala no fue lo suficientemente sensible para captar la variabilidad en las percepciones o experiencia de los participantes. Por otro lado, evidencian tendencia hacia un extremo, donde una escala tuvo una mayor cantidad de selecciones en un extremo, en comparación con el otro, de esta forma se obtuvo una visión más completa de la brecha existente entre la simulación con un dispositivo convencional y la simulación basada en IA.

Trabajo de campo

Procesamiento de los datos

Los datos de la encuesta diseñada con escala de Likert se ingresaron en una hoja de cálculo para la respectiva distribución de los datos por cantidad y porcentaje de respuestas por cada declaración afirmativa.

Tabla 1.

Cantidad de respuestas en cada ítem de la escala

Escala	Variable detección de errores					Variable eliminación de riesgos				
	Declaración 1	Declaración 2	Declaración 3	Declaración 4	Declaración 5	Declaración 6	Declaración 7	Declaración 8	Declaración 9	Declaración 10
1. Totalmente en desacuerdo	6	11	3	6	4	1	2	2	0	8
2. En desacuerdo	0	13	0	9	9	1	4	6	0	7
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	3	4	2	2	5	3	2	2	9
4. De acuerdo	17	5	18	12	13	23	14	15	17	7
5. Totalmente de acuerdo	18	10	17	13	14	12	19	17	23	11
Total	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Escala	Variable fases de prueba					Variable habilidades multitarea				
	Declaración 11	Declaración 12	Declaración 13	Declaración 14	Declaración 15	Declaración 16	Declaración 17	Declaración 18	Declaración 19	Declaración 20
1. Totalmente en desacuerdo	2	9	3	7	6	2	2	1	1	2
2. En desacuerdo	0	9	10	10	8	2	4	2	2	0
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	2	3	3	2	7	3	0	1	3
4. De acuerdo	17	9	11	11	13	14	17	15	15	16
5. Totalmente de acuerdo	22	13	15	11	13	17	16	24	23	21
Total	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42

Nota. Esta tabla evidencia por cada declaración las puntuaciones de los encuestados en cada ítem de la escala. Fuente: Los autores

Tabla 2.*Porcentaje de respuestas en cada ítem de la escala*

Escala	Variable detección de errores					Variable eliminación de riesgos				
	Declaración 1	Declaración 2	Declaración 3	Declaración 4	Declaración 5	Declaración 6	Declaración 7	Declaración 8	Declaración 9	Declaración 10
1. Totalmente en desacuerdo	14,3%	26,2%	7,1%	14,3%	9,5%	2,4%	4,8%	4,8%	0,0%	19,0%
2. En desacuerdo	0,0%	31,0%	0,0%	21,4%	21,4%	2,4%	9,5%	14,3%	0,0%	16,7%
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2,4%	7,1%	9,5%	4,8%	4,8%	11,9%	7,1%	4,8%	4,8%	21,4%
4. De acuerdo	40,5%	11,9%	42,9%	28,6%	31,0%	54,8%	33,3%	35,7%	40,5%	16,7%
5. Totalmente de acuerdo	42,9%	23,8%	40,5%	31,0%	33,3%	28,6%	45,2%	40,5%	54,8%	26,2%
Escala	Variable fases de prueba					Variable habilidades multitarea				
	Declaración 11	Declaración 12	Declaración 13	Declaración 14	Declaración 15	Declaración 16	Declaración 17	Declaración 18	Declaración 19	Declaración 20
1. Totalmente en desacuerdo	4,8%	21,4%	7,1%	16,7%	14,3%	4,8%	4,8%	2,4%	2,4%	4,8%
2. En desacuerdo	0,0%	21,4%	23,8%	23,8%	19,0%	4,8%	9,5%	4,8%	4,8%	0,0%
3. Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2,4%	4,8%	7,1%	7,1%	4,8%	16,7%	7,1%	0,0%	2,4%	7,1%
4. De acuerdo	40,5%	21,4%	26,2%	26,2%	31,0%	33,3%	40,5%	35,7%	35,7%	38,1%
5. Totalmente de acuerdo	52,4%	31,0%	35,7%	26,2%	31,0%	40,5%	38,1%	57,1%	54,8%	50,0%

Nota. Esta tabla evidencia por cada declaración el porcentaje de las puntuaciones de los encuestados en cada ítem de la escala; evidenciando que el patrón de respuestas de mayor porcentaje se encuentra en el nivel de “totalmente de acuerdo”. Fuente: Los autores

Análisis de los Resultados

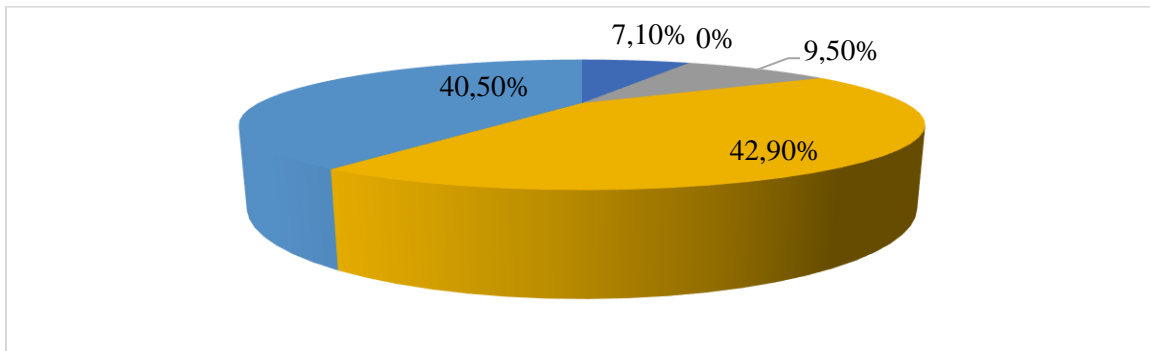
Desventajas del simulador RedBird FMX para el entrenamiento de los pilotos policiales

La medición de la variable de detección de errores permitió inferir las diferencias entre el uso de un simulador de categoría AATD, como el RedBird FMX y la IA, en cuanto a reconocimiento automático de riesgos y amenazas producidas por los pilotos de la ESAVI en las tareas de simulación, debido a que pueden maniobrar con total libertad, es decir, la libertad de movimiento en un simulador puede ayudar a los pilotos a adquirir experiencia práctica en situaciones realistas, pero también puede llevar al desarrollo de malos hábitos o prácticas inadecuadas y su comportamiento anímico y condición física también podría incidir en la manifestación de errores, ya que se encuentran en un entorno controlado y seguro.

El RedBird FMX utiliza un sistema de visualización de última generación que proporciona una imagen realista del entorno de vuelo, también tiene un sistema de control preciso que permite a los pilotos realizar maniobras complejas con precisión, sin embargo, para el 7,1% (Figura 7) de los encuestados este dispositivo no proporciona una libertad de maniobra absoluta en el sentido de una aeronave real y es posible que estén en desacuerdo debido a las capacidades avanzadas y realistas de estos dispositivos, en comparación con la IA.

Figura 7.

El RedBird FMX permite maniobrar con total libertad

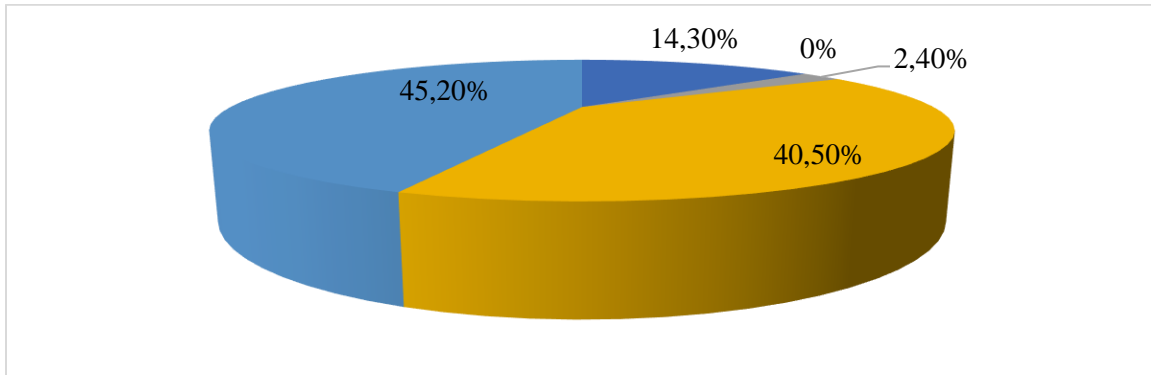


Nota. Frente a esta declaración el 40,50% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 42,90% “de acuerdo”, el 9,50% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 0% “en desacuerdo” y el 7,10% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

Los movimientos, las fuerzas G y otras sensaciones del vuelo no siempre se pueden replicar por completo en un simulador, lo que puede influir en la percepción de que el 14,30% de los pilotos esté totalmente en desacuerdo con que el RedBird FMX evalúe la capacidad del piloto para mantener la aeronave en posición y navegar hacia su destino (Figura 8). La mayor cantidad de respuestas hacia un extremo de la escala de Likert, donde el 45,20% de los encuestados está totalmente de acuerdo con esta afirmación evidencia un sesgo de respuesta, pues en realidad quién evalúa dicha capacidad son los instructores de vuelo. Es posible que la respuesta haya sido influenciada por factores ajenos a la pregunta, sin embargo, se infiere que una de las desventajas de no conocer o no comprender adecuadamente la simulación con IA que efectivamente evalúa la capacidad del piloto, mediante un sistema de detección de errores y aprendizaje automático puede limitar la actualización tecnológica, la evaluación precisa del desempeño de los pilotos y la identificación de áreas de mejora.

Figura 8.

El RedBird puede evaluar la capacidad del piloto para mantener la aeronave en posición y navegar hacia su destino

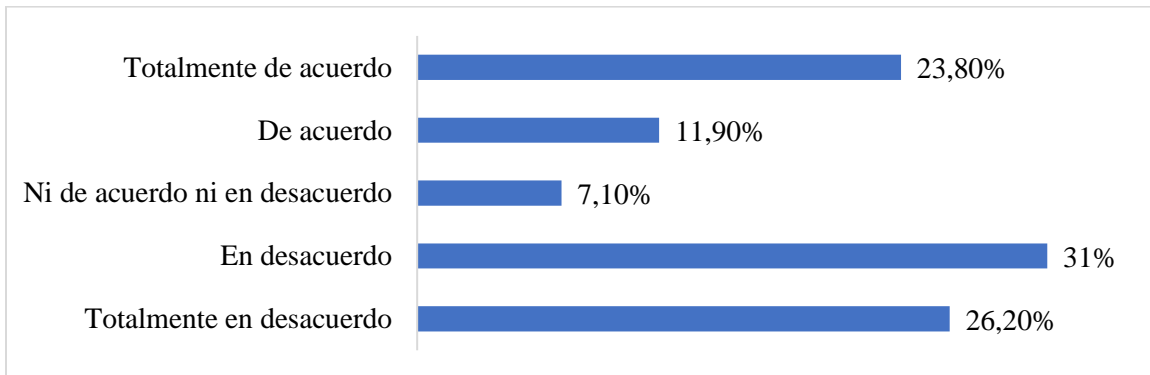


Nota. Frente a esta declaración el 45, 2% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 40,50% “de acuerdo”, el 2,40% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 0% “en desacuerdo” y el 14,30% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

Los resultados frente a si el RedBird FMX reconoce el comportamiento anímico y la condición física del piloto, fueron uniformes, no hubo tendencia representativa hacia un extremo de la escala; mientras que el 23,8% estuvo totalmente de acuerdo con esta afirmación, el 26,2% estuvo totalmente en desacuerdo (Figura 9). Dicho factor puede afectar significativamente el rendimiento de los pilotos en operaciones de vuelo real, pues aquellos que estén estresados, fatigados o enfermos pueden cometer errores que pueden provocar accidentes. El RedBird FMX no tiene la capacidad de monitorear y evaluar las emociones y la condición física del piloto ya que se requieren sensores biométricos, en contraste, la IA utiliza algoritmos de aprendizaje automático para analizar los datos fisiológicos del piloto, los cuales pueden ser recopilados a través de sensores de movimiento, sensores de frecuencia cardíaca y sensores de electroencefalografía, incluso, identifica patrones en los datos fisiológicos que pueden indicar problemas de salud.

Figura 9.

El RedBird FMX reconoce el comportamiento anímico y la condición física del piloto

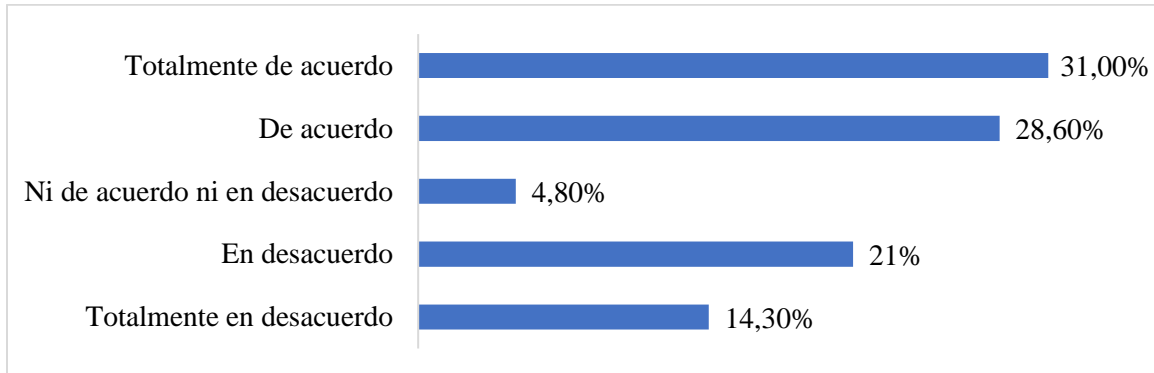


Nota. Frente a esta declaración el 23,8% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 11,90% “de acuerdo”, el 7,10% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 31% “en desacuerdo” y el 26,20% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

En cuanto a si el RedBird FMX puede emitir una alarma y proporcionar al piloto información sobre las fallas para corregirlas, los resultados fueron uniformes, no hubo tendencia hacia un extremo de la escala. El 31% estuvo totalmente de acuerdo con esta afirmación, el 28,6% de acuerdo, el 21,4% en desacuerdo y el 14,3% totalmente en desacuerdo (Figura 10). Si bien el RedBird recopila en una base de datos la información sobre los errores de los pilotos para generar informes de rendimiento que posteriormente son revisados por los instructores, la IA utiliza algoritmos para analizar los datos de los sensores, detectar errores en el rendimiento del piloto y proporcionar retroalimentación en tiempo real. La retroalimentación entre los pilotos instructores puede variar, ser subjetiva y representar una desventaja frente a la simulación con IA que se basa en datos objetivos y medibles para evaluar el rendimiento del piloto.

Figura 10.

El RedBird emite una alarma y proporciona información sobre las fallas de los pilotos para corregirlas



Nota. Frente a esta declaración el 31,0% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 28,60% “de acuerdo”, el 4,80% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 21% “en desacuerdo” y el 14,30% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

En resumen, las desventajas del simulador RedBird FMX que pueden limitar la optimización del entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la Escuela de Aviación de la Policía, son las siguientes (Tabla 3):

Tabla 3.

Desventajas del simulador RedBird FMX

Categoría	Descripción
Realismo	El RedBird FMX es un simulador realista, pero no puede recrear todas las condiciones del mundo real.
Entrenamiento del instructor de vuelo	El uso del RedBird FMX requiere capacitación especial para los instructores de vuelo, por tanto, la cantidad limitada de instructores capacitados en la ESAVI, puede limitar la efectividad del entrenamiento.
Actualización Tecnológica	La tecnología de simuladores de vuelo está en constante evolución, y es posible que el simulador pueda quedar desactualizado en comparación con las últimas innovaciones
Personalización	La capacidad de personalizar escenarios y ajustar parámetros específicos está limitada en el simulador, lo que podría afectar la adaptabilidad del programa de entrenamiento a las necesidades específicas tanto de los pilotos como de la Escuela de Aviación Policial.

Interfaz de Escenarios	La tecnología que integra RedBird FMX, limita la variedad de escenarios de trabajo, permitiendo que el estudiante desarrolle su entrenamiento en escenarios predictivos y secuenciales, dando espacio para un entrenamiento memorizado bajo un enfoque de aprendizaje secuencial.
Integración con otros sistemas de entrenamiento	La integración de sistemas de realidad virtual o hardware adicional, puede presentar desafíos técnicos y logísticos

Nota. Aunque el Redbird FMX es un simulador de vuelo avanzado con muchas características beneficiosas, como cualquier sistema, también tiene algunas limitaciones. Algunos pilotos pueden notar que la sensación de movimiento y la respuesta física pueden no replicar con precisión todas las sensaciones de vuelo. Incluso, la efectividad del entrenamiento en el Redbird FMX puede depender en gran medida de la calidad del instructor. La necesidad de instructores altamente calificados y experimentados puede ser vista como una desventaja en comparación con simuladores totalmente automáticos. Fuente: Los autores.

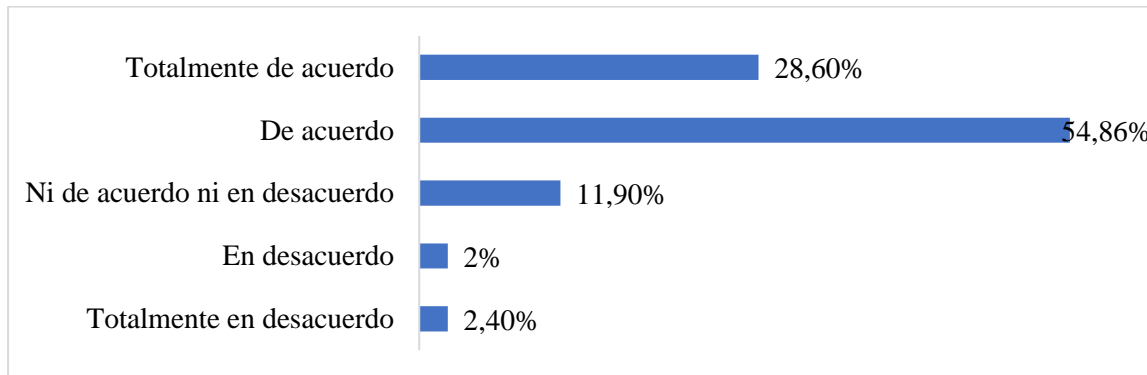
Comparación del RedBird FMX con la simulación basada en IA para la formación de pilotos policiales

La medición de las variables de fases de prueba y riesgos en operaciones permitió inferir qué tipo de incidentes no planificados experimentan los pilotos en las tareas de simulación mediante ejecución manual, la importancia de proporcionar una experiencia de vuelo más realista y envolvente con la IA, así como las preferencias que podrían mejorar las habilidades de vuelo de los pilotos a partir de la IA.

Más del 70% de los pilotos encuestados están de acuerdo y totalmente de acuerdo con que el RedBird FMX proporciona una experiencia de vuelo realista y envolvente (Figura 11), ya que la cabina incluye todos los controles e instrumentos necesarios para realizar una variedad de maniobras de vuelo, la plataforma de movimiento proporciona retroalimentación de movimiento en los tres ejes, lo que permite a los pilotos experimentar los efectos de la turbulencia, el despegue y el aterrizaje y el sistema visual envolvente utiliza seis pantallas de alta definición para crear una experiencia visual realista, incluye una biblioteca de escenarios prefabricados que cubren una variedad de ubicaciones, pero no cuenta con una amplia gama de escenarios rurales y urbanos, tampoco puede replicar la sensación de volar un avión real, que incluye factores como el viento, el clima y la gravedad.

Figura 11.

El RedBird FMX proporciona una experiencia realista y envolvente.

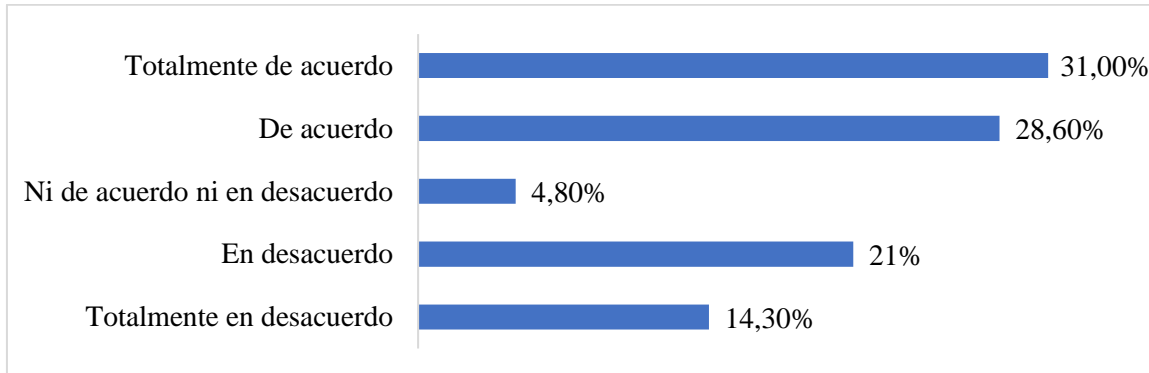


Nota. Frente a esta declaración el 28,6% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 54,86% “de acuerdo”, el 11,90% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 2% “en desacuerdo” y el 2,4% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

Aunque el 31% de los encuestados estuvo totalmente de acuerdo con que la representación visual del RedBird FMX se adecua a los diversos escenarios del entorno colombiano (Figura 12), ciertamente este dispositivo tiene limitaciones técnicas para representar con precisión todos los escenarios posibles, esto puede plantear desafíos en el entrenamiento y la familiarización de los pilotos con las condiciones específicas de Colombia. La tendencia hacia un extremo de la escala de Likert, permite inferir el desconocimiento de un porcentaje de encuestados frente a la capacidad realista que ofrece la simulación de vuelo con IA, podría llevar a una formación más costosa y menos flexible, que incluye un mayor número de horas de vuelo reales.

Figura 12.

La representación visual del RedBird FMX se adecua a los diversos escenarios del entorno colombiano.



Nota. Frente a esta declaración el 31% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 28,6% “de acuerdo”, el 4,8% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 21% “en desacuerdo” y el 14,30% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

Los resultados ante la declaración de que el RedBird FMX ayuda a los pilotos a practicar cómo lidiar las emergencias de vuelo producidas por ataques terroristas de manera segura fueron uniformes, no hubo tendencia hacia un extremo de la escala, el 19% estuvo totalmente en desacuerdo, el 16,7% en desacuerdo, el 21,4% ni de acuerdo ni en desacuerdo, el 16,7% de acuerdo y el 26,2% totalmente de acuerdo (Figura 13). Ciertamente, el RedBird está diseñado para simular condiciones de vuelo normales y de emergencia, pero su sistema visual no está diseñado para simular ataques terroristas, a diferencia de la IA, esta podría utilizarse para ayudar a los pilotos a practicar este tipo de emergencias utilizando un sistema de sensores para detectar amenazas.

Figura 13.

El RedBird ayuda a los pilotos a practicar cómo lidiar las emergencias de vuelo producidas por ataques terroristas de manera segura

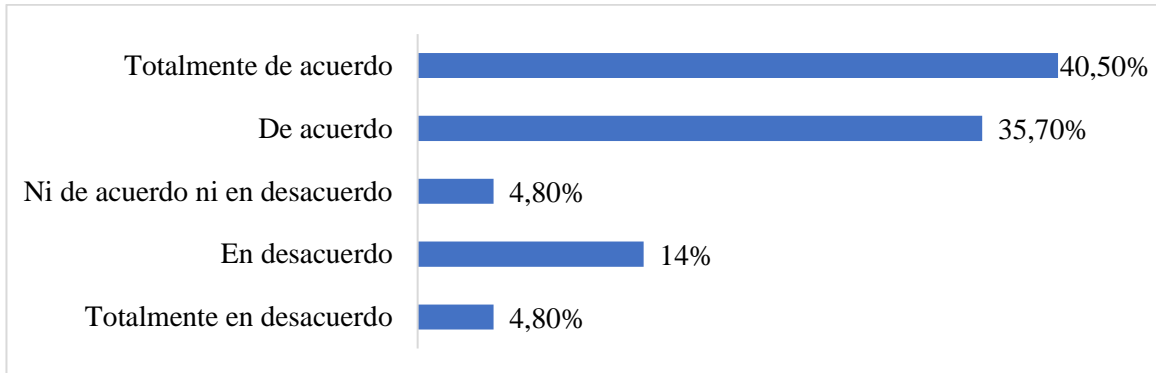


Nota. Frente a esta declaración el 26,2% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 16,70% “de acuerdo”, el 21,7% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 17% “en desacuerdo” y el 19% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

Aunque el 40,5% esté totalmente de acuerdo y el 35,7% de acuerdo con que el RedBird permite a los pilotos experimentar fallas en los controles de vuelo, en los sistemas de navegación, de presurización, en el motor y durante el aterrizaje (Figura 14), RedBird Simulations, la empresa que lo fabrica, indica que las fallas no son exactamente iguales a las que ocurren en un avión real, el simulador simplemente muestra una advertencia en la pantalla para que los pilotos tomen medidas y corrijan la falla que se emite manualmente desde un panel de control, sin embargo, la falla del sistema de presurización no es una de ellas; esta es simulada de forma automática, es decir, el instructor de vuelo es quien controla la progresión de la falla y se asegura que el estudiante tenga la oportunidad de practicar el procedimiento, como ponerse el equipo de oxígeno, declarar una emergencia y descender a una altitud segura.

Figura 14.

El RedBird permite a los pilotos experimentar fallas en los controles de sistemas de navegación, presurización, en el sistema de motor y durante el aterrizaje



Nota. Frente a esta declaración el 40,5% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 35,7% “de acuerdo”, el 4,8% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 14% “en desacuerdo” y el 4,80% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

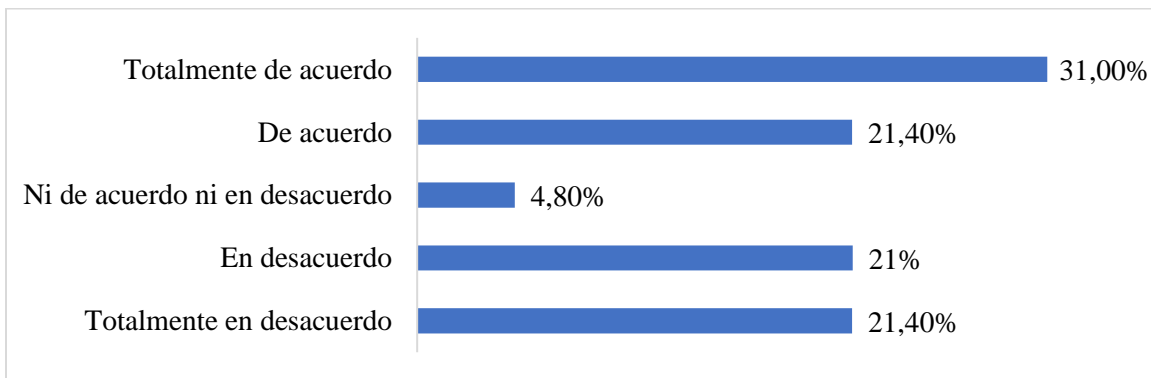
Una de las formas en que la IA podría utilizarse para simular una falla en el sistema de presurización es utilizando un sistema de sensores para detectar cambios en la presión de la cabina, utilizando un sistema de ventilación o vacío para reducir o aumentar la presión de la cabina, un sistema de provisión de oxígeno para reducir el suministro de oxígeno a la cabina y una advertencia en la pantalla para indicar que se ha producido una falla. Los avances de la IA también podrían utilizarse para simular los efectos físicos, como provocar que el piloto experimente mareos, náuseas y dificultad para respirar, sin embargo, mientras se piensa que la IA podría ser una herramienta valiosa para practicar la respuesta a esta condición potencialmente peligrosa, RedBird Simulations, cree que es importante que los pilotos experimenten fallas que sean realistas, pero a la vez seguras y controladas por el instructor de vuelo.

Frente al nivel de acuerdo sobre si el RedBird FMX puede evaluar la capacidad del piloto para manejar el estrés y la fatiga durante una situación de emergencia, los resultados también fueron uniformes, no hubo tendencia hacia un extremo de la escala, el 31% estuvo totalmente de acuerdo, mientras que el 21,4% totalmente en desacuerdo (Figura 15). Durante el entrenamiento de pilotos policiales, es importante que estén conscientes de los efectos del estrés y la fatiga en su rendimiento, pues pueden tener dificultades para concentrarse y tomar decisiones rápidas. El RedBird no puede generar escenarios de emergencia que sean lo suficientemente

desafiantes como para causar estrés o fatiga a los pilotos. La IA tiene el potencial de proporcionar una evaluación más precisa y realista, ya que puede generar escenarios de emergencia personalizados que se adapten a las necesidades específicas del piloto. Estos escenarios pueden ser diseñados para desafiar al piloto tanto física como mentalmente, ya que la IA utiliza el aprendizaje automático para identificar patrones en el comportamiento del piloto para predecir el nivel de confianza del piloto y una vez detectado puede emitir más tareas desafiantes para evaluar las habilidades y la experiencia del piloto y monitorear su comportamiento mediante la recopilación de datos de la frecuencia cardíaca, la respiración y la actividad cerebral.

Figura 15.

En una situación de emergencia el RedBird evalúa la capacidad del piloto para manejar el estrés y la fatiga



Nota. Frente a esta declaración el 31% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 21,40% “de acuerdo”, el 4,80% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 21% “en desacuerdo” y el 21,4% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

La simulación con IA que integre un sistema de detección de errores realizados por los pilotos durante los test de simulación y fases de prueba puede contribuir a la eliminación de riesgos durante el desarrollo de las operaciones aéreas y a la potenciación de habilidades multitarea del cuerpo de aviación policial para la toma de decisiones en situaciones normales, anormales o de emergencia. A diferencia del RedBird FMX, la IA puede utilizarse para identificar momentos en los que el piloto puede hacer preguntas o solicitar una aclaración para proporcionar retroalimentación personalizada.

En resumen, la comparación entre el simulador de vuelo Redbird FMX y un simulador de vuelo con IA puede ser desafiante, ya que la eficacia, eficiencia y realismo de estos sistemas pueden depender de varios factores específicos, como la versión exacta del simulador, las características implementadas y los objetivos de entrenamiento (Tabla 4):

Tabla 4. Comparación entre el simulador de vuelo Redbird FMX y un simulador de vuelo con inteligencia artificial

Categoría	ReBird FMX	Simulador con IA
Eficacia	Buen nivel de eficacia para entrenamiento de procedimientos, navegación y situaciones de vuelo variadas.	Potencialmente alta gracias a la capacidad de adaptarse y proporcionar instrucción personalizada.
Eficiencia	Eficiente en la reproducción de tareas estándar y escenarios predefinidos.	Eficiente en la identificación de áreas de mejora específicas y adaptación dinámica del entrenamiento.
Realismo	Proporciona un realismo visual y de sistemas que se asemeja a las condiciones de vuelo real	Puede variar, pero algunas implementaciones avanzadas pueden ofrecer realismo significativo en la interacción
Personalización	Configurable para adaptarse a diversos escenarios, aunque con algunas limitaciones.	Altamente personalizable para adaptarse a las necesidades específicas del piloto y proporcionar retroalimentación adaptada
Innovación	Carece de funcionalidades más avanzadas, como IA para instrucción personalizada.	Puede incluir capacidades avanzadas, como aprendizaje automático e interacción conversacional para una experiencia de entrenamiento más avanzada

Nota. Es importante tener en cuenta que la integración de IA en un simulador de vuelo puede traer beneficios adicionales, como adaptabilidad y personalización en el entrenamiento. Sin embargo, el grado de eficacia, eficiencia y realismo puede depender de la implementación específica de la inteligencia artificial y de cómo se integra con el resto del simulador. Fuente: Los autores.

Propuesta a la solución de la problemática

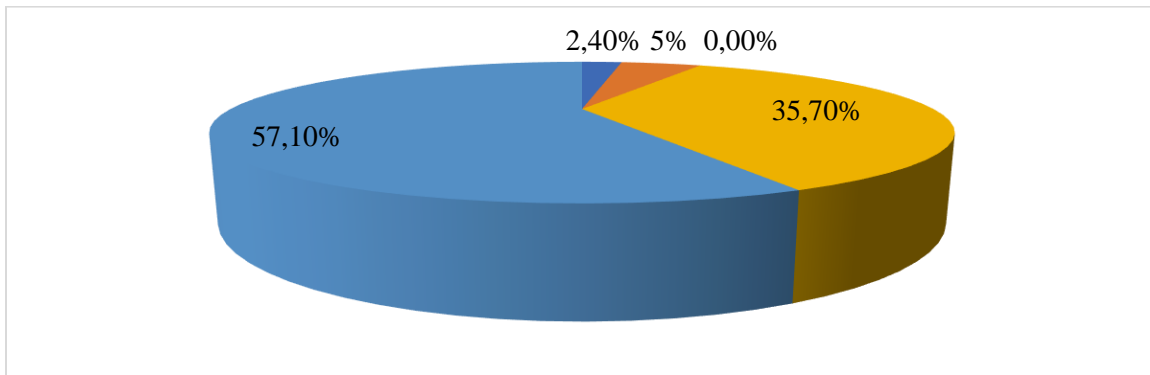
Situación actual

Inicialmente, la IA es una tecnología relativamente nueva en el contexto colombiano y la formación en IA no suele ser una prioridad para las instituciones de policía, por tanto, la falta de familiarización de los pilotos policiales con la IA no les permite estar completamente conscientes de las capacidades y ventajas de la IA en sus operaciones y desarrollo de habilidades. La medición de la variable habilidades multitarea permitió inferir sobre la necesidad de brindar mayor personalización en las tareas de simulación, con un software de IA que permita extraer la información de la pericia de cada piloto y crear entornos de vuelo más precisos y realistas.

Aunque en varias de las respuestas a las declaraciones la tendencia hacia un extremo de la escala haya sido mayor, fue necesario detectar y analizar la polarización de respuestas, es decir, el otro extremo las respuestas se agrupan en menor rango, por ejemplo, en cuanto a si el RedBird FMX ayuda a los pilotos básicos a aprender a gestionar los recursos de cabina como los controles de vuelo, instrumentos de navegación y motor, el 57,1% estuvo totalmente de acuerdo y el 35,7%, sin embargo, el 7,3% estuvo en desacuerdo con esta afirmación (Figura 16) y una de las razones que podría explicar este resultado es que el RedBird FMX es un simulador de clasificación AATD (Advanced Aviation Training Device) y puede que los pilotos policiales conozcan o hayan tenido experiencias de vuelo más realistas y envolventes con simuladores de vuelo de alta clasificación como el FTD (Flight Training Device) y el FFS (Full Flight Simulator).

Figura 16.

El RedBird ayuda a los pilotos básicos a aprender a gestionar los recursos de cabina.



Nota. Frente a esta declaración el 57,1% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 35,4% “de acuerdo”, el 0% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 5% “en desacuerdo” y el 2,40% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

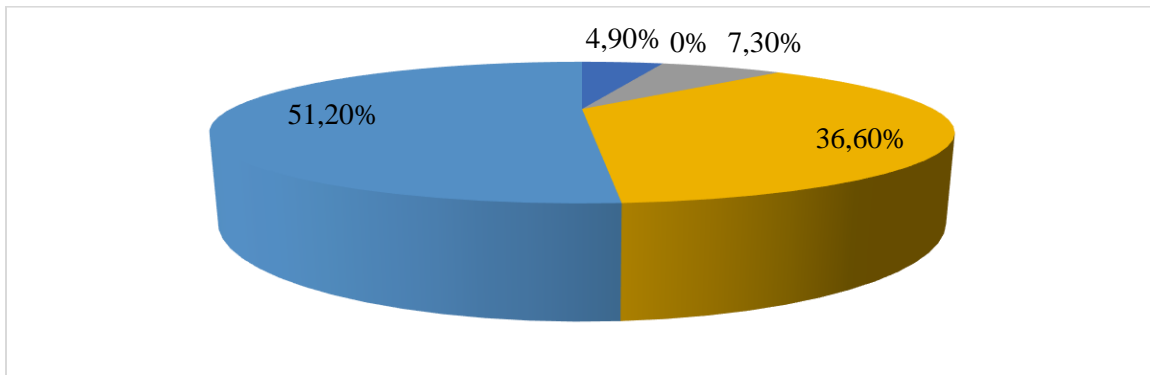
Oportunidades

La IA tiene el potencial de mejorar significativamente los test de simulación y las habilidades multitarea de los pilotos policiales, debido a que integran un sistema de detección de errores, fases de prueba y retroalimentación para la eliminación de riesgos durante el desarrollo de las operaciones aéreas y toma de decisiones en situaciones normales, anormales o de emergencia, ya que el entrenamiento es más personalizado.

Frente a esta afirmación, el 51,2% estuvo totalmente de acuerdo y el 36,6% de acuerdo (Figura 17), no obstante, para soportar dicha afirmación es necesario explicar cómo la IA puede mejorar una tarea convencional descrita dentro del manual de entrenamiento de la tripulación línea CESSNA 172 de la ESAVI.

Figura 17.

La simulación con IA es más personalizada



Nota. Frente a esta declaración el 51,2% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 36,6% “de acuerdo”, el 7,30% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 0% “en desacuerdo” y el 4,9% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

Por ejemplo, las tareas de " Orientación de la tripulación y Ejecutar procedimientos radiotelefónicos" son una parte crítica de la formación de pilotos y se refiere a la comunicación y la coordinación entre los miembros de la tripulación en una aeronave. La IA podría mejorar la comunicación si los pilotos interactúan con personajes virtuales o sistemas de inteligencia artificial que respondan de manera auténtica a sus comunicaciones y solicitudes. La tarea de “Ejecutar una planificación de vuelo VFR (Visual Flight Rules)” en el RedBird se puede mejorar con la incorporación de un sistema de generación automática de rutas, incluso podría sugerir ajustes en la altitud o cambios en la ruta en función de las condiciones meteorológicas cambiantes.

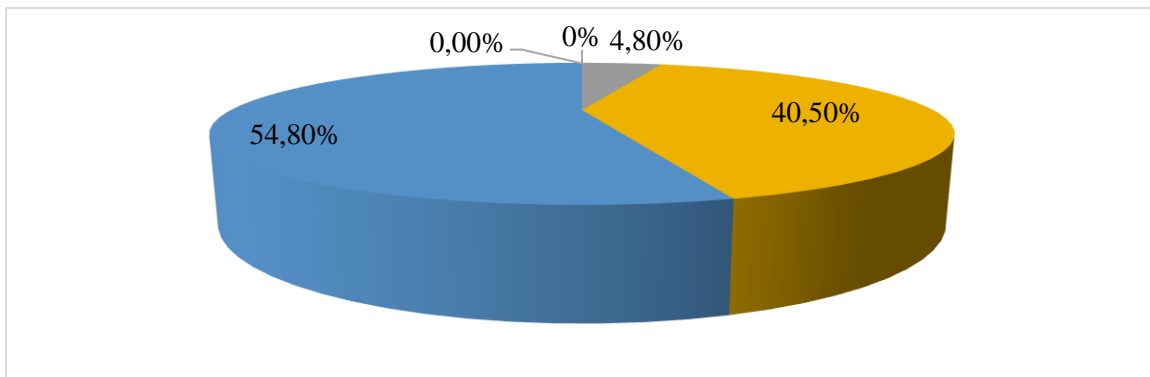
Por otro lado, la tarea de “Ejecutar la planificación de vuelo IFR (Instrument Flight Rules)” en el RedBird podría mejorarse mediante la generación de escenarios dinámicos. La IA puede crear escenarios de vuelo IFR en tiempo real, teniendo en cuenta variables como el tráfico aéreo, las condiciones meteorológicas cambiantes y las decisiones de navegación de otros pilotos virtuales. Además, podría evaluar el rendimiento del piloto, adaptando automáticamente la dificultad del escenario en función de las habilidades y el progreso del piloto.

Cabe resaltar que el 54,8% y el 40,5% están totalmente de acuerdo con que un simulador de vuelo con IA permitiría a los pilotos mejorar las prácticas en situaciones no planificadas como

aterrizajes forzosos o despegues abortados (Figura 18). En comparación con simuladores tradicionales como el RedBird FMX, la IA podría analizar las tareas de ejecución de vuelo lento (VMCA), recobro de pérdidas y de navegación a la estima, a través de escenarios de entrenamiento basados en datos reales, es decir, la IA podría utilizar datos históricos de vuelos reales y accidentes para crear escenarios de entrenamiento realistas, lo que permitiría a los pilotos practicar situaciones que se han encontrado en la vida real y aprender de los errores de otros.

Figura 18.

La IA permitiría mejorar las prácticas en situaciones no planificadas



Nota. Frente a esta declaración el 54,8% estuvo “totalmente de acuerdo”, el 40,50% “de acuerdo”, el 7,10% “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el 0% “en desacuerdo” y el 0% “totalmente en desacuerdo”. **Fuente:** Los autores

Además, la IA podría ayudar a los pilotos básicos a mejorar sus habilidades de toma de decisiones bajo presión, pues esto implica una serie de factores emocionales, cognitivos y situacionales que pueden ser difíciles de simular completamente en un entorno virtual. La IA podría introducir factores adicionales de estrés cognitivo en el simulador, como comunicaciones de emergencia, ruido de cabina o distracciones, para simular situaciones de alta presión que requieran una toma de decisiones efectiva, también podría simular las consecuencias a largo plazo de las decisiones tomadas durante la simulación, lo que permitiría a los pilotos comprender mejor cómo sus elecciones afectan a la seguridad y la eficiencia del vuelo.

Propuesta

Después de identificar las necesidades específicas de entrenamiento de los pilotos policiales, como escenarios de vuelo, situaciones de emergencia, procedimientos de respuesta, se propone

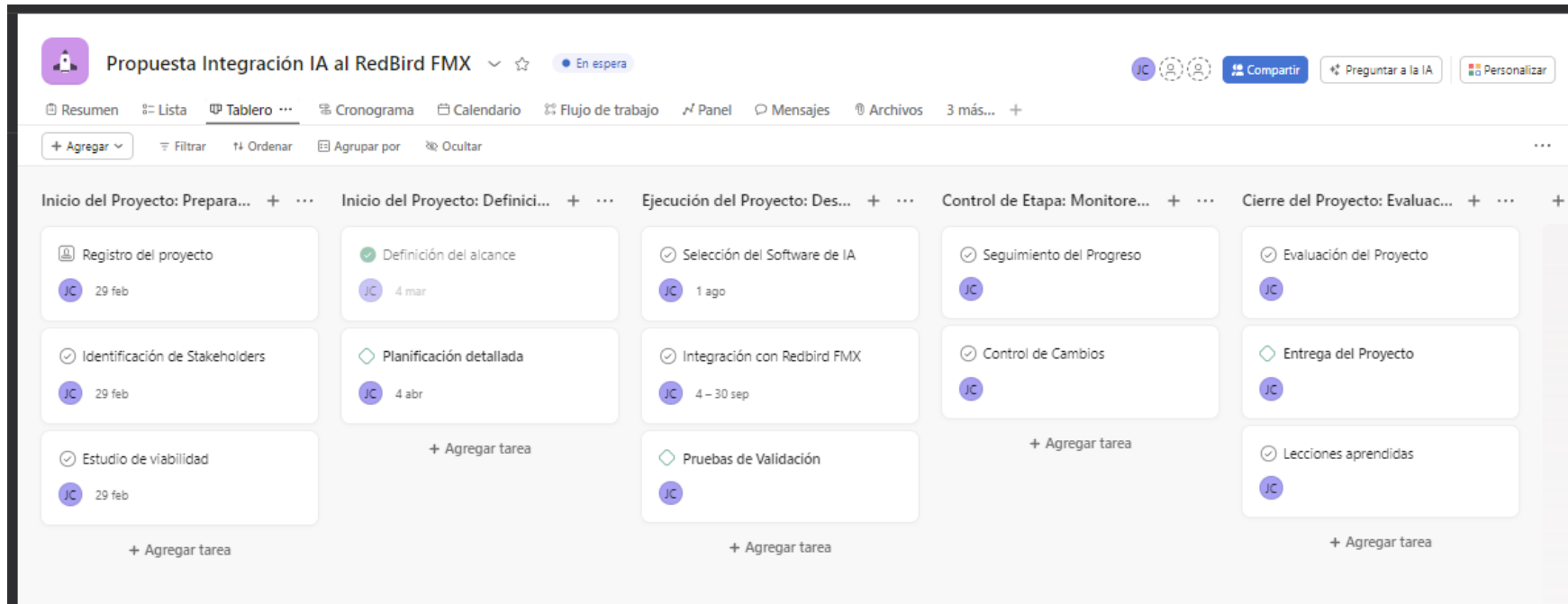
incorporar al RedBird FMX un software de IA para generar escenarios de vuelo más dinámicos y adaptativos, ajustar la dificultad de los escenarios en función del nivel de habilidad y experiencia del piloto, mejorar la simulación de comunicaciones, proporcionar retroalimentación personalizada en tiempo real basada en las acciones y decisiones del piloto durante la simulación, además de rastrear y evaluar el progreso del piloto a lo largo del tiempo, con el fin de ajustar el entrenamiento según sea necesario.

Esto se puede lograr mediante la investigación y selección del software de IA disponibles en el mercado, comparando las opciones en términos de características, capacidades, costos y requisitos técnicos. Por otro lado, sería necesario ponerse en contacto con el fabricante de los simuladores de vuelo RedBird para obtener información sobre soluciones de software de IA compatibles con su hardware, ya que antes de adquirir la licencia o los derechos de uso del software es importante verificar la integración técnica, es decir, hay que asegurarse que el simulador de vuelo RedBird sea compatible con el software seleccionado. Para ello, se requiere trabajar con ingenieros de software especializados en realizar las integraciones, ya que el hardware, es decir, las estaciones de trabajo de simulación y los dispositivos de control deben ser compatibles con la nueva configuración para que se ajuste a las necesidades específicas de entrenamiento de los pilotos policiales.

A continuación, se presenta una propuesta simplificada de cómo estructurar la metodología Prince2 para proponer la integración de un software de IA en el simulador de vuelo RedBird FMX, que contribuya a la capacitación y entrenamiento de los pilotos de la Policía Nacional de Colombia (Figura 19).

Figura 19.

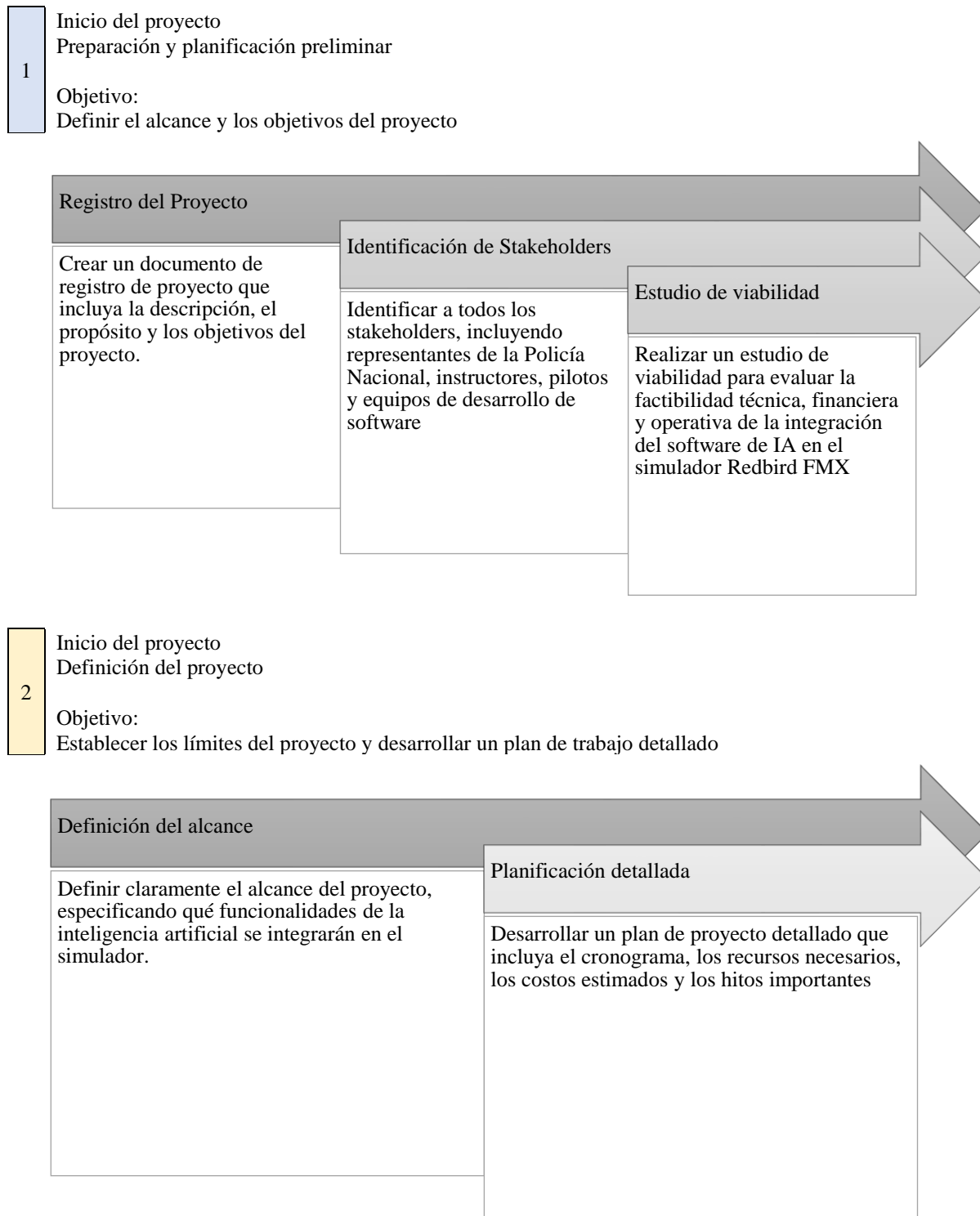
Estructura visual simple de la propuesta de integración de la IA al RedBird FMX, a través del software Assana



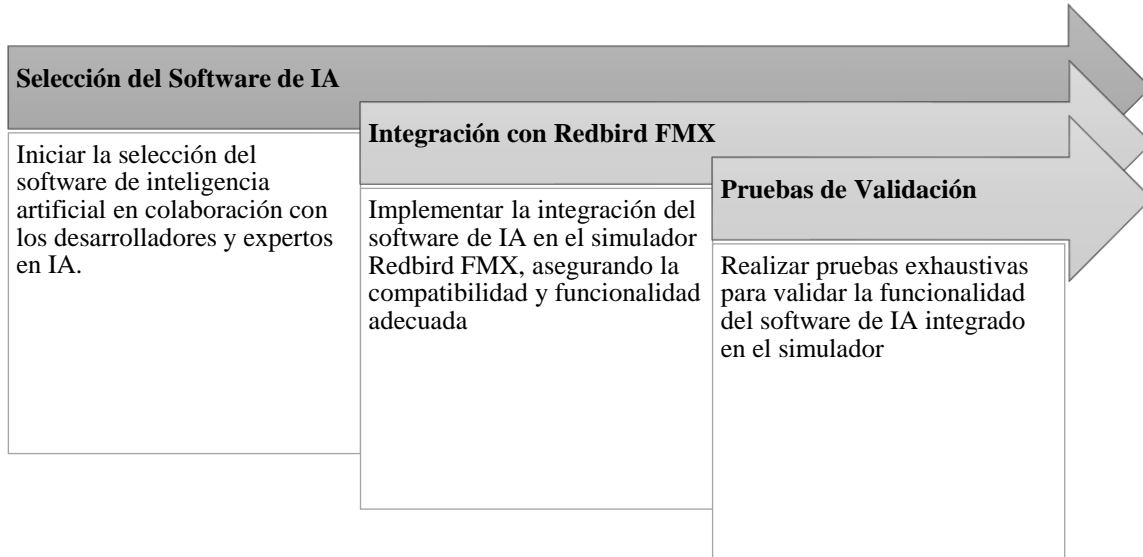
Nota. Se estructuraron las fases de la metodología Prince2 a través del uso del programa en línea Asana que permite, representar las tareas principales del proyecto, dividir las tareas en subtareas más específicas para representar las acciones detalladas, asignar responsables y establecer fechas de vencimiento para cada tarea.

Figura 20.

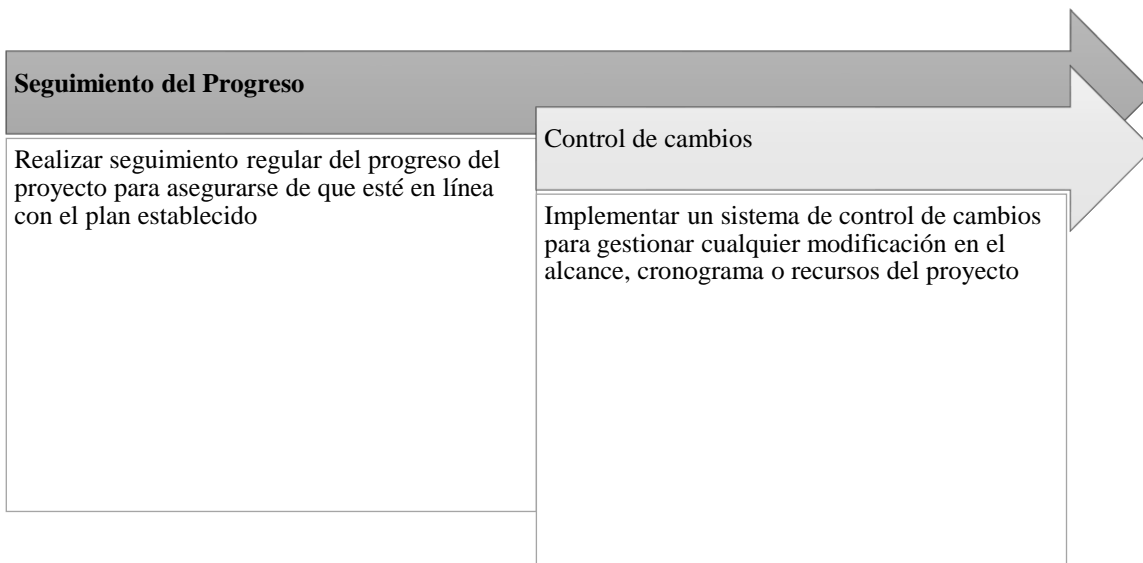
Descripción de las tareas en cada fase del proyecto para la integración de la IA al RedBird

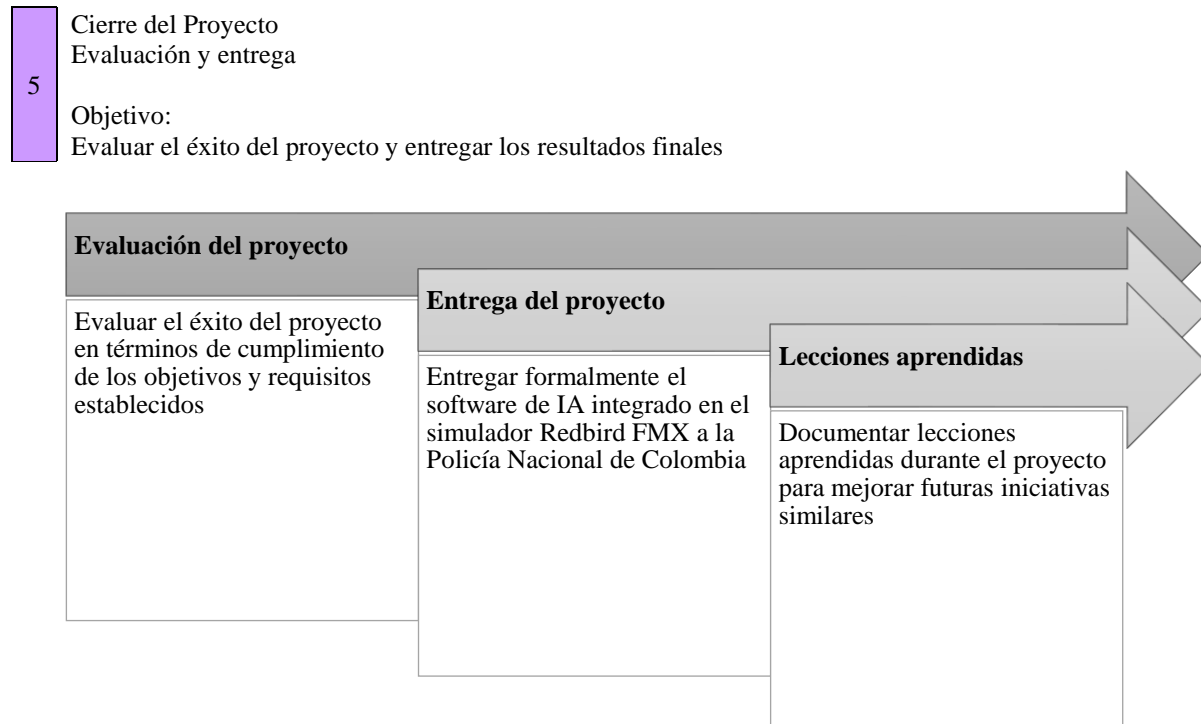


3
Ejecución del proyecto
Desarrollo e integración
Objetivo:
Implementar el proyecto de acuerdo al plan establecido



4
Control de etapa
Monitoreo y control del proyecto
Objetivo:
Monitorear el progreso y realizar ajustes según sea necesario





Nota. Fuente: Los autores

Discusión

El simulador RedBird FMX es un simulador de vuelo de última generación que ofrece una experiencia de vuelo realista y envolvente para los pilotos de aviación policial en la ESAVI, sin embargo, en comparación con un simulador con IA, tiene algunas desventajas, entre ellas, el realismo, la personalización y la eficiencia. El RedBird FMX utiliza un sistema de movimiento de seis grados de libertad, pero no puede crear entornos visuales o meteorológicos tan realistas como los que pueden crear los simuladores con IA, ofrece una serie de opciones de personalización, pero tal como lo plantea Bernal (2018) no es tan flexible para adaptarse a las necesidades individuales de cada piloto y aunque el RedBird FMX es un simulador eficaz, no ofrece los mismos beneficios de aprendizaje en situaciones peligrosas, desafiantes y de emergencia, así como en escenarios de trabajo conjunto donde es necesaria la comunicación, ya que no cuenta con un sistema incorporado que grabe la voz de todos los participantes en la sesión de entrenamiento para evaluar el rendimiento del estudiante aprendiz y proporcionar retroalimentación de forma inmediata.

Por otro lado, los aportes de Clavijo, et al. (2018) el RedBird FMX no cuenta con un sistema de comunicación integrado que permita al piloto desarrollar la capacidad de trabajo con otros pilotos y controladores de tráfico aéreo para completar una tarea o misión, este tipo de simulación es guiada por el piloto instructor, en contraste, la IA podría utilizarse para identificar errores en el diálogo entre el estudiante aprendiz y el piloto instructor, con el fin de proporcionar retroalimentación específica e inmediata sobre cómo mejorar la precisión del lenguaje.

Para Chacón y Morales (2022) la simulación con IA es una tecnología relativamente nueva, y aún no se ha generalizado en la formación de pilotos de aviación policial en el contexto colombiano, además, hay varios factores que pueden contribuir a que los pilotos de aviación policial desconozcan esta tecnología, tales como, el costo, la disponibilidad y adiestramiento. En el caso específico de la ESAVI el presupuesto aproximado para invertir en un software IA que se pueda integrar a un simulador puede variar entre \$10.000 y \$100.000 dólares. Los softwares más básicos, que ofrecen funciones básicas como la generación de tráfico aéreo y la evaluación del desempeño del piloto, suelen tener un costo de entre \$10.000 y \$50.000 dólares. Los softwares más avanzados, que ofrecen funciones de simulación en condiciones climáticas adversas y la interacción del piloto a través de una interfaz de realidad virtual, pueden tener un costo de entre \$50.000 y \$100.000 dólares (Alpha, 2023). Este presupuesto, también depende de la duración del contrato que incluye costos de instalación y configuración, mantenimiento y actualización. Si el contrato es a largo plazo, el costo del software puede ser menor, si es a corto plazo, el costo puede ser mayor.

La IA está transformando la industria de la aviación de muchas maneras, y la formación de pilotos no es una excepción, sin embargo, existen otras razones que explican la falta de familiarización de los pilotos policiales con la IA, como la resistencia al cambio, las barreras culturales y generacionales y algunas limitaciones que se pueden encontrar en la tecnología actual. Martínez y Arias (2023) explican que la adopción de nuevas tecnologías siempre implica un período de adaptación y puede generar resistencia al cambio entre los pilotos. Pueden sentirse cómodos con sus métodos tradicionales y ser reacios a aprender algo nuevo. Las diferencias

generacionales también pueden influir, ya que algunos pilotos provienen de una cultura organizativa que valora la experiencia y pueden no estar tan cómodos con la tecnología, pues como lo menciona Ibáñez y Aragüés (2020) la IA todavía tiene limitaciones en términos de precisión y fiabilidad, incluso, hay pilotos que han experimentado problemas técnicos o resultados inexactos al utilizar la IA, lo que los hace menos propensos a confiar en ella.

La IA se está utilizando para crear simuladores de vuelo más realistas y efectivos, lo que puede ayudar a los pilotos a desarrollar las habilidades y el conocimiento necesarios para volar de manera segura y eficiente. La IA ofrece varios beneficios para la formación de pilotos como el entrenamiento de habilidades cognitivas para la toma de decisiones y la resolución de problemas en situaciones críticas, evalúa el rendimiento, es mucho más personalizado y proporciona retroalimentación en tiempo real para ayudar a los pilotos a aprender más rápido y a evitar errores

Conclusiones y trabajo futuro

Las limitaciones del simulador RedBird FMX pueden influir en la efectividad del entrenamiento de los pilotos, lo que puede poner en riesgo su preparación para situaciones reales. La IA tiene el potencial de revolucionar la formación de pilotos. Al integrar una simulación de vuelo más realista, efectiva y puede ayudar a los pilotos a desarrollar las habilidades y el conocimiento necesarios para volar de manera segura y eficiente, puede utilizarse para entrenar a los pilotos en situaciones de emergencia, en entornos complejos y desafiantes y proporcionarles comentarios personalizados.

La IA es una tecnología con una relevancia global significativa, y Colombia no es una excepción. A medida que la tecnología de la IA continúe desarrollándose, es probable que la simulación con IA se vuelva más asequible y accesible, pues tiene el potencial de transformar la economía y la sociedad colombiana. Esto podría ayudar a aumentar la conciencia de esta tecnología entre los pilotos de aviación policial, pues es relativamente nueva, y aún no se ha generalizado en la formación de pilotos de aviación policial debido a factores de costo, disponibilidad y falta de familiarización con el funcionamiento de la tecnología IA.

La comparación entre el RedBird FMX y la simulación basada en IA lleva a la conclusión de que ambas tecnologías tienen ventajas y desventajas, y que la combinación de ambas podría ser la mejor estrategia para el entrenamiento de pilotos, permitiendo la mejora continua de las habilidades y el uso eficiente de los recursos.

En el contexto de la industria 4.0, la simulación de vuelo basada en IA es una herramienta indispensable para los pilotos de la policía. Esta tecnología les permite mantenerse a la vanguardia de las últimas tendencias y tecnologías, y les ayuda a cumplir con su misión de proteger a la comunidad. Además, no solo ayuda a los pilotos a aprender nuevas habilidades y a mejorar las existentes, también ayuda a reducir los costos de formación y entrenamiento.

El uso de la IA puede monitorear las emociones y la condición física del piloto, no obstante, esta función implica cuestiones de privacidad y consentimiento y no todos los pilotos podrían sentirse cómodos con la idea de que se les realice un seguimiento constante de su estado emocional y físico durante una simulación.

Para ayudar a los pilotos de aviación policial a conocer la simulación de vuelo basada en IA, se propone a mediano plazo iniciar con la articulación de un módulo académico de IA al programa curricular de la ESAVI, dirigido a los pilotos de aviación, el cual incluya las competencias a desarrollar, los recursos y los métodos de aprendizaje y evaluación para dar cumplimiento a la formulación de objetivos centrados en la comprensión de los conceptos básicos de la IA y la importancia de la automatización en las tareas de simulación de vuelo, así como en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y proyectos investigativos que contribuyan a la reducción de las brechas entre el aprendizaje y la innovación tecnológica.

Referencias

- Aguado, C., & Ruíz, S. (2013). *112511 Instalación y configuración de entornos de simulación de vuelo para formación y experimentación de nuevas tecnologías aeronáuticas*. Obtenido de <https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2013/112511/AguadoReyesCarlos-TFGAa2012-13.pdf>
- Alpha. (2023). *Artificial Intelligence Development Cost*. Obtenido de <https://www.aalpha.net/blog/artificial-intelligence-development-cost/>
- Aparicio, L. (2016). *Colombia: una auténtica revolución en Asuntos Militares*. Obtenido de Revista Fuerzas Armadas.
- Avenger Flight Group. (2023). *Airbus Full Flight Simulators*. Obtenido de <https://www.afgsim.com/es/full-motion-flight-simulators/airbus/>
- Avenger Flight Group. (2023). *Flight Training Devices de AFG*. Obtenido de <https://www.afgsim.com/es/flight-training-devices/>
- Badrán, F., & Niño, C. (2020). *Seguridad nacional de Colombia: aproximación crítica a los contrasentidos misionales*. Obtenido de <http://www.cries.org/wp-content/uploads/2020/09/009-Farid-.pdf>
- Baquero, L., & León, C. (2022). *Integración e implementación de realidad virtual para un Simulador de entrenamiento de vuelo de uso libre*. Obtenido de https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/5140/Baquero_Leon_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barbosa, J., & Romero, L. (2023). *Uso de inteligencia artificial en simuladores de vuelo para la formación de pilotos en Colombia*. Bogotá: Revista de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.
- Bard, A. (2023). *The use of artificial intelligence in flight simulation*. Al Magazine.
- CAE Oxford Aviation Academy. (2020). *The history of Human Performance*. Oxford: Oxford Aviation Academy.
- Carvajal, M., & Torres, J. (2022). *Aplicación de inteligencia artificial para la detección de errores en simuladores de vuelo*. Medellín: Revista de Ciencias Aeronáuticas.
- Chacón, N., & Morales, V. (2022). *Diseño y fabricación de ala ZAGI, para la implementación de un sistema de inteligencia artificial para la detección de objetos*. Obtenido de <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/5654>
- Chen, Y., Liu, Z., & Wang, Y. (2022). *And intelligent flight simulator based on deep reinforcement learning*. New York: Journal of intelligent and robotic systems.
- Clavijo, D., Vera, L., & Cavero, M. (2018). *Centro de Instrucción de aeronáutica civil*. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fb3e4f4d-1068-4bb1-8acb-72cafe8e9a7a/content>
- Clavijo, D., Vera, L., & Cavero, M. (2018). *Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil*. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fb3e4f4d-1068-4bb1-8acb-72cafe8e9a7a/content>
- De Bie, P. (2020). *Inteligencia Artificial: cómo puede ayudar a reactivar la aviación*. Obtenido de <https://www.redseguridad.com/revistas/red/090/74/index.html>

- Díaz, C. (2021). *Análisis de los procesos que transformaron la operatividad del sector aeronáutico con la implementación de la industria 4.0 en Europa en la última década. Una mirada al modelo Low Cost*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/41331/DiazRamosChristianSantiago2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, J., González, E., Pérez, J., Medina, R., & Rangel, A. (2020). *Complemento al simulador de vuelo del helicóptero Bell 206, para las prácticas en la formación de pilotos de la ESAVI*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v17n34/2463-0950-eia-17-34-113.pdf>
- DIEPO. (2023). *Formación del piloto policial en la ESAVI*. Obtenido de Dirección de Talento Humano.
- ESAVI. (2023). *Estructura orgánica*. Obtenido de <https://www.policia.gov.co/escuelas/aviacion/organigrama>
- Escuela de Aviación Policial. (2023). *Centro de Simulación Aeronáutica*.
- Escuela Militar de Aviación. (2022). *Conocimientos aeronáuticos para el Piloto Militar*. Obtenido de <https://cdn227724.fac.mil.co/sites/emavi/files/2023-02/Conocimientos%20Aeronauticos%20para%20el%20Piloto%20Militar.%20Vol%20I.pdf>
- Figuerola, J., & Hernández, M. (2004). *Simulador Dinámico de un Helicóptero en Tiempo Real*. Obtenido de <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/629643/33068000957958.pdf?sequence>
- Figuerola, J., González, E., Pérez, J., Medina, R., & Rangel, A. (2020). *Complement to the flight simulator of the Bell 206 helicopter, for training practices of pilots of the ESAVI*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372020000200113
- Flightdeck Solutions. (2023). *Fully tactile flight training devices*. Obtenido de https://flightdecksolutions.com/storage/app/media/Brochures/Multi%20Device%20Brochure%20-%20Clickable%20-%20Flightdeck%20Solutions%20-%202022.09.14%20web.pdf?utm_source=onsite
- Gómez, Á. (2021). *Ética del ecosistema híbrido cognitivo entre el espacio físico y el ciberespacio. Aproximación desde el caso de la inteligencia artificial*. Obtenido de <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.67495>
- González, J., & Gutiérrez, M. (2021). *Uso de inteligencia artificial para la personalización de la experiencia de entrenamiento en simuladores de vuelo*. Bogotá: Revista de Ciencias Militares.
- Hernández. (2020). *Publicación: Formación de instructores de simuladores de vuelo basada en escenarios virtuales de entrenamiento*. Obtenido de <https://docta.ucm.es/entities/publication/13543956-17e3-4db8-891b-d024179790bb>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2017). *Metodología de la investigación*. Obtenido de

- [http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodología%20de%20la%20Investigación%20SAM PIERI.pdf](http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodología%20de%20la%20Investigación%20SAM%20PIERI.pdf)
- Hinojosa, A., & Barrera, J. (2021). *Utilización de encuesta de escala Likert para precisar el grado de aplicación del modelo de control interno COSO 2013*. Obtenido de <https://doi.org/10.29105/vtga7.2-47>
- Ibáñez, M., & Aragüés, M. (2020). *Control de vuelo para seguimiento de trayectorias de un cuadricóptero simulado mediante ROS/Gazebo*. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/101422>
- Li, H., Zhang, X., & Wang, J. (2019). *An intelligent flight simulator based on big data analytics*. Omaha: IEEE Transactions on Industrial Informatics.
- López, J., & Martínez, M. (2020). *Aplicación de inteligencia artificial para la creación de escenarios de entrenamiento personalizados en simuladores de vuelo*. Bogotá: Revista de Ciencias Aeronáuticas.
- Lozano, C., Camero, R., Melo, P., Orduy, J., & Barón, I. (2022). *Inteligencia artificial en las operaciones aéreas*. Obtenido de Memorias 3er Seminario Internacional en mantenimiento e investigación aeronáutica - ISSN 2981-3735 - Pág. 35-59: <https://sitio.usan jose.edu.co/wp-content/uploads/2023/04/Memoria-Ejercito-V3.docx.pdf>
- Martínez, M., & Arias, S. (2023). *Cómo integrar Design Thinking en el Ciclo de Vida de Verificación y Validación de Software para Simuladores de Vuelo*. Obtenido de <https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft/article/view/93>
- Martínez, J. (2017). *Description and comparison of Visual scanning in Beginner and expert pilots During a VFR landing*. Obtenido de <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.584>.
- McLaren, E. (2020). *Entrenador turco Hurkus con simulador de IA*. Obtenido de <https://fdra-aereo.blogspot.com/2020/09/entrenador-turco-hurkus-con-simulador.html>
- Medios Soluciones Holding Group. (2023). *Simulation Training Allowance Chart*. Obtenido de <https://www.msholdinggroup.com/solutions/simulation/>
- Ministerio de Defensa. (2020). *Usos militares de la inteligencia artificial, la automatización y la robótica (IAA&R)*. Obtenido de Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos España: https://emad.defensa.gob.es/Galerias/CCDC/files/USOS_MILITARES_DE_LA_INTELIGENCIA_ARTIFICIAL_x_LA_AUTOMATIZACION_Y_LA_ROBOTICA_xIAAxRx._VV.AA.pdf
- Ministerio de Educación Nacional. (2021). *Política de educación de la fuerza pública 2022-2026*. Obtenido de <https://policia.edu.co/wp-content/uploads/2021/09/Poli%CC%81tica-de-Educacio%CC%81n-para-la-Fuerza-Pu%CC%81blica-2021-2026-Versio%CC%81n-Final.pdf>
- Minotta, C. (2017). *Teoría del procesamiento de la información en la resolución de problemas*. Obtenido de <https://doi.org/10.15665/esc.v15i1.1127>

- Nahum, J. (2016). *Simulador de aeronaves no tripuladas: estudio de integración y ensayo en vuelo con el sistema de piloto automático "Ardupilot"*. Obtenido de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/4958>
- Pérez, C. (2018). *Creación de un simulador y una IA sobre drones para la ayuda al rescate de montaña*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/107279>
- Pérez, D., Rubio, L., Morcillo, P., & López, A. (2021). *A 32-year meta-analysis on Artificial Intelligence research in aviation Disclosing past success, unlocking next challenges*. Obtenido de <https://doi.org/10.55234/edej-1-1-007>
- Rainer, J., & Rodríguez, L. (2019). *Perspectiva histórica y evolución de la inteligencia artificial*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6896759>
- Ramírez, J., & Sánchez, M. (2019). *Uso de inteligencia artificial para la detección y corrección de errores en simuladores de vuelo*. Bogotá: Revista de Ciencias Militares.
- Redbird Flight Simulations. (2020). *Advanced Aviation Training Device*. Obtenido de <https://beyourowncaptain.com/wp-content/uploads/2020/11/Redbird-LD-SD-FMX-MCX-revised-QAG-v4.7I.pdf>
- Rodríguez, P. (2021). *Inteligencia artificial para la administración de los Reglamentos Aeronáuticos De Colombia (RAC)*. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/133/1332194002/html/index.html>
- Romero, M. (2021). *La Industria 4.0 en el sector aeronáutico*. Obtenido de Universidad de Sevilla: <http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93426/fichero/TFG-3426+ROMERO+CLAVIJO%2C+MARÍA.pdf>
- Servomechanisms Laboratory Massachusetts Institute of Technology. (1977). *Project Whirlwind Volume 14 Aircraft Simulation*. Obtenido de <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0896854.pdf>
- Sossa, J. (2020). *El papel de la inteligencia artificial en la Industria 4.0*. Obtenido de https://ru.iibi.unam.mx/jspui/bitstream/IIBI_UNAM/89/1/01_inteligencia_artificial_juan_sossa.pdf
- Teigens, V., Skalfist, P., & Mikelsten, D. (2020). *Inteligencia artificial: la cuarta revolución industrial*. Cambridge Stanford Books.
- Vargas, A., Díaz, J., & Chaparro, H. (2021). *Simuladores de vuelo como estrategia didáctica y pedagógica en la Escuela de Aviación Policial*. Obtenido de <https://revistalogos.policia.edu.co:8443/omp/index.php/editorial/catalog/book/44>
- Villalobos, H. (2020). *El desarrollo tecnológico en materia policial: una receta de éxito para la prevención del delito*. Obtenido de <https://doi.org/10.18359/ries.4243>
- Villamil, L., Avella, E., & Tenorio, J. (2018). *Simuladores de vuelo: una revisión*. Obtenido de [https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/606/844#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Federal%20Aviation%20Administration,de%20vuelo%20completo%20\(FFS\)](https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/606/844#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Federal%20Aviation%20Administration,de%20vuelo%20completo%20(FFS))

Anexos

Anexo A. Instrumento de medición

Integración de un simulador de vuelo con inteligencia artificial para las actividades de entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la ESAVI

La Inteligencia Artificial (IA) es un campo de la informática que se ocupa de la creación de agentes inteligentes o sistemas que pueden razonar, aprender y actuar de forma autónoma. Se puede utilizar para crear simuladores de vuelo más realistas, envolventes y proporcionar a los pilotos una formación más personalizada y efectiva.

A continuación, se presentan 20 enunciados que contrastan las características del simulador RedBird FMX, de categoría AATD (Advanced Aviation Training Device), con las de un simulador de vuelo basado en IA que podría mejorar la experiencia de entrenamiento y las habilidades multitarea de los pilotos en las operaciones aéreas.

Por favor, lea cada enunciado y marque la casilla que mejor describa su acuerdo o desacuerdo, siendo 1 "totalmente en desacuerdo", 2 "en desacuerdo", 3 "ni de acuerdo ni en desacuerdo", 4 "de acuerdo" y 5 "totalmente de acuerdo". No hay respuestas correctas o incorrectas, y sus respuestas serán confidenciales.

Gracias por su tiempo.

Datos generales

Descripción (opcional)

Nombre

Texto de respuesta corta

Género

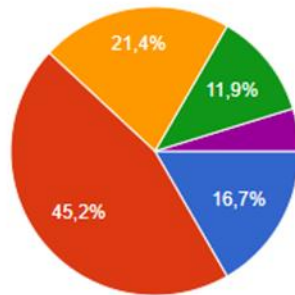
Femenino

Masculino

Categoría de piloto al que pertenece

 Copiar

42 respuestas

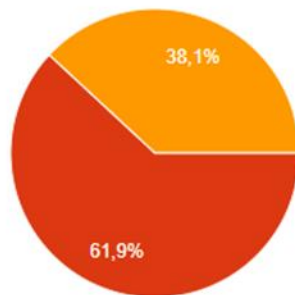


- Piloto Estudiante/Básico
- Copiloto
- Piloto en Comando
- Piloto Instructor
- Piloto Estandarizador

Rango de edad

 Copiar

42 respuestas

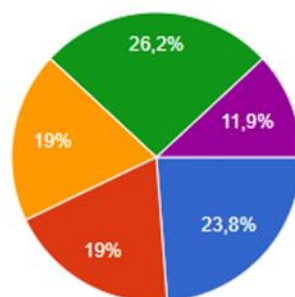


- 18 años a 24 años
- 25 años a 34 años
- 35 años a 44 años
- Más de 45 años

Tiempo de experiencia profesional como piloto

 Copiar

42 respuestas

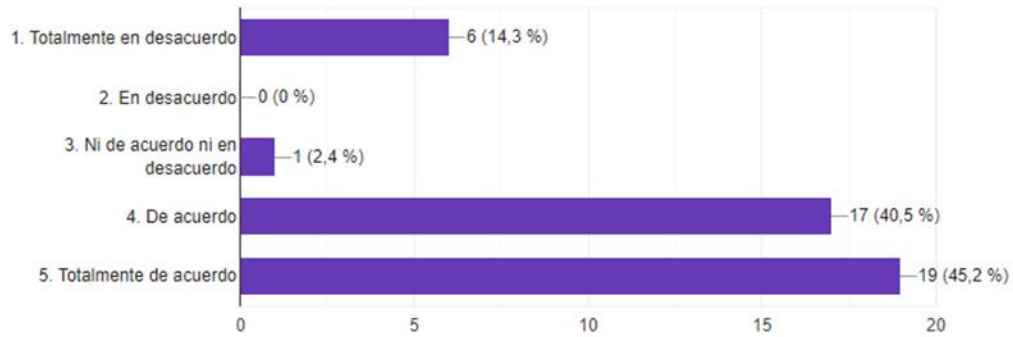


- Menos de 1 año
- 1-3 años
- 3-5 años
- 5-10 años
- Más de 10 años

1. El RedBird FMX puede evaluar la capacidad del piloto para mantener la aeronave en posición y navegar hacia su destino

[Copiar](#)

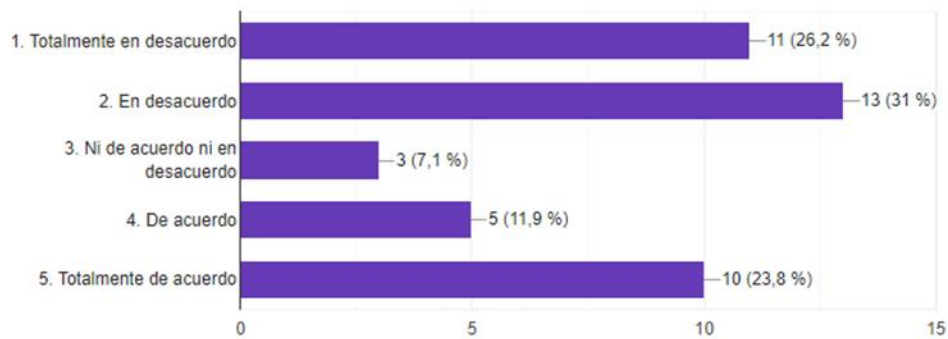
42 respuestas



2. El RedBird FMX reconoce el comportamiento anímico y la condición física del piloto durante las pruebas de simulación

[Copiar](#)

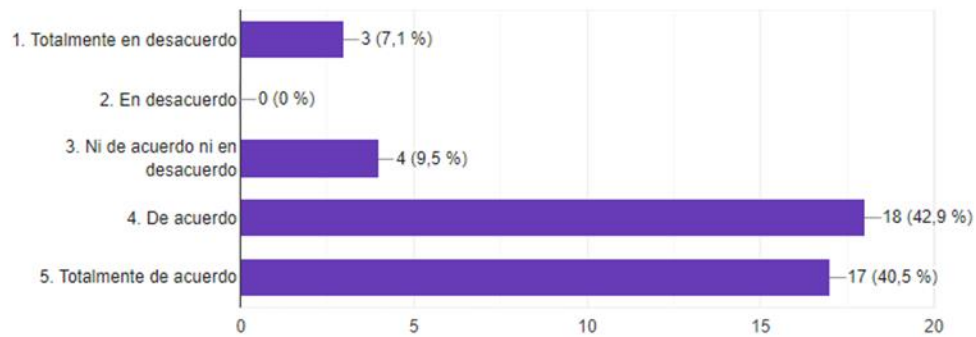
42 respuestas



3. El RedBird FMX permite al piloto maniobrar con total libertad

[Copiar](#)

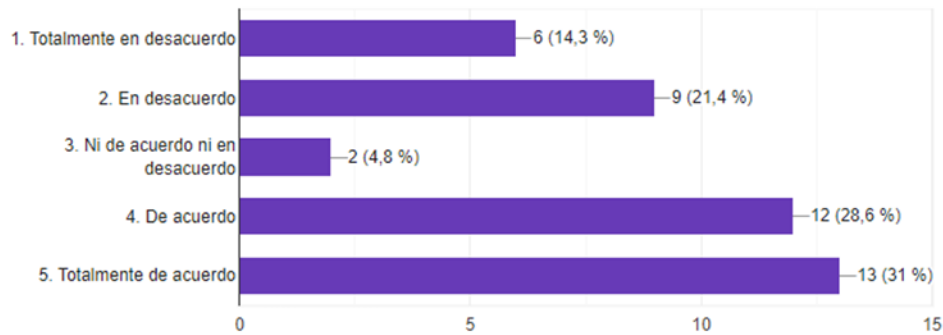
42 respuestas



4. Cuando los pilotos cometen una variedad de errores en las tareas de entrenamiento, el RedBird FMX puede emitir una alarma y proporcionarle al piloto información sobre la falla para corregirla y evitar un accidente.

[Copiar](#)

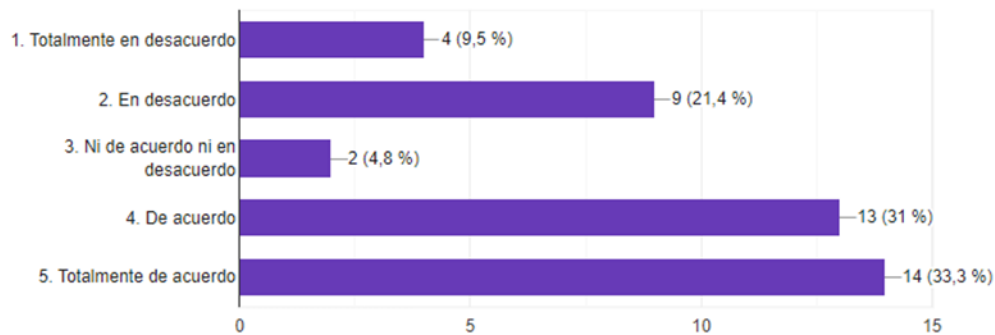
42 respuestas



5. El RedBird FMX recopila información sobre los errores de cálculo, errores de juicio o errores de procedimiento cometidos por los pilotos durante las pruebas de simulación.

[Copiar](#)

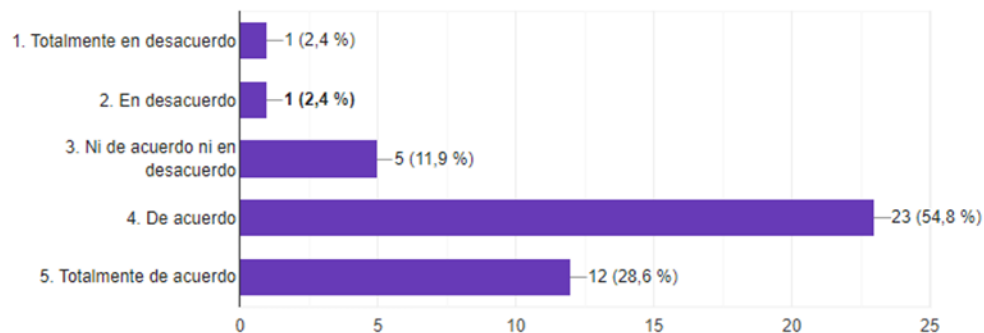
42 respuestas



6. El RedBird FMX proporciona una experiencia de vuelo realista y envolvente.

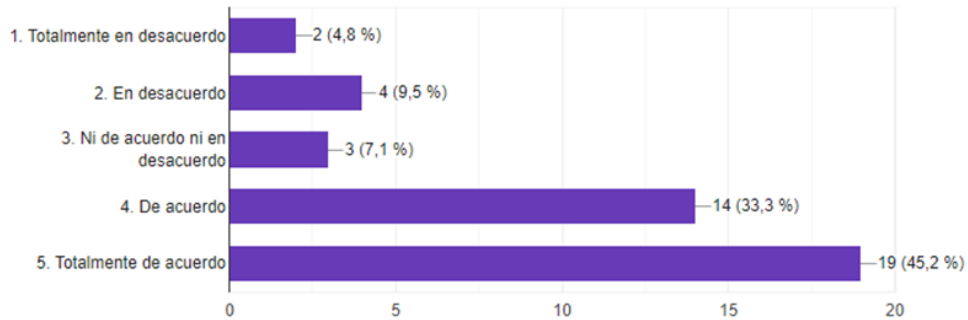
[Copiar](#)

42 respuestas



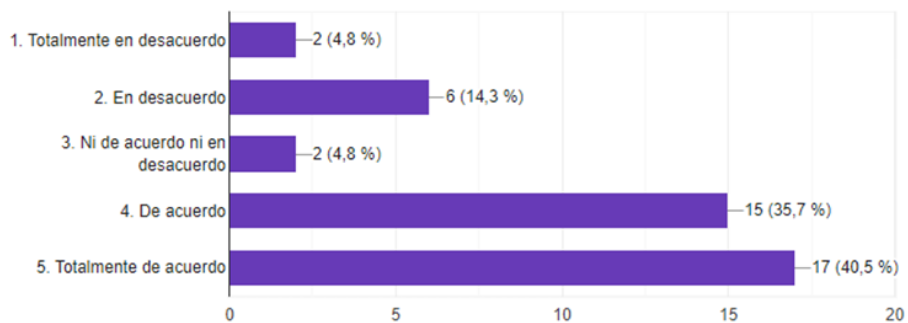
7. La representación visual del RedBird FMX se adecua a los diversos escenarios del entorno colombiano. [Copiar](#)

42 respuestas



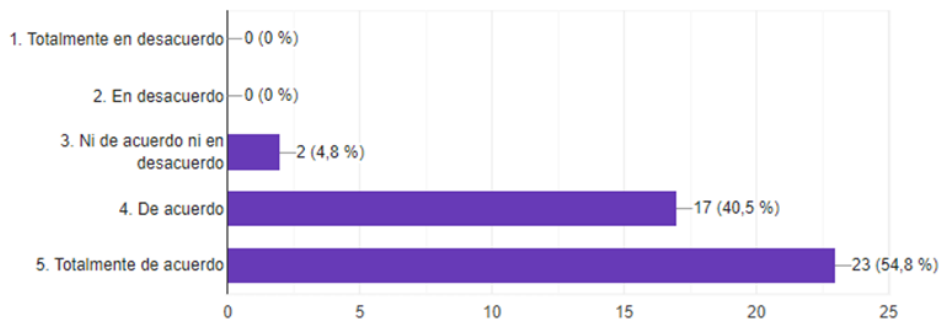
8. El RedBird FMX permite a los pilotos experimentar fallas en los sistemas de la aeronave como son: Fallas en los controles de vuelo, fallas en los sistemas de navegación, falla en el sistema de presurización, fallas en el sistema de motor y fallas durante el aterrizaje [Copiar](#)

42 respuestas



9. Un simulador de vuelo con IA permitiría a los pilotos mejorar las prácticas en situaciones no planificadas como aterrizajes forzosos o despegues abortados [Copiar](#)

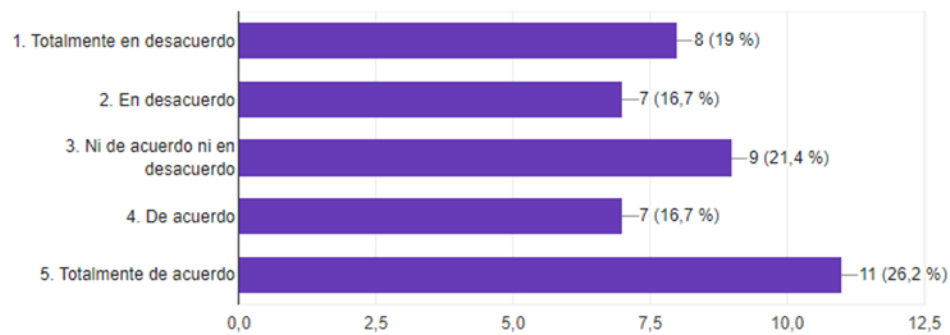
42 respuestas



10. El RedBird FMX ayuda a los pilotos a practicar cómo lidiar las emergencias de vuelo producidas por ataques terroristas de manera segura

[Copiar](#)

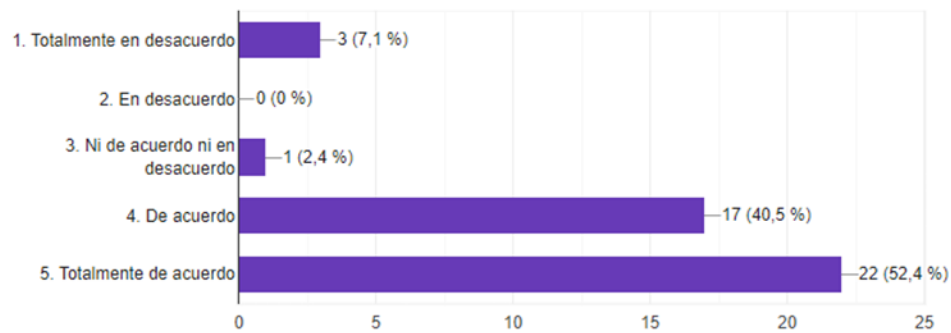
42 respuestas



11. El simulador RedBird FMX puede generar condiciones climáticas adversas, como tormentas eléctricas, fuertes vientos y turbulencias para que los pilotos tomen decisiones rápidas y controlen la aeronave

[Copiar](#)

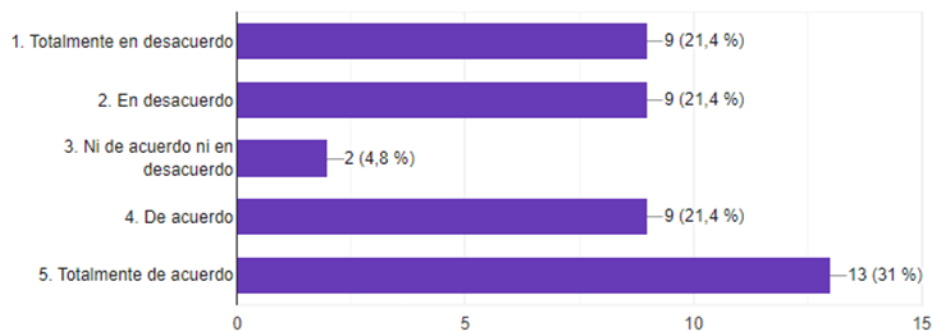
42 respuestas



12. En una situación de emergencia el RedBird FMX puede evaluar la capacidad del piloto para manejar el estrés y la fatiga

[Copiar](#)

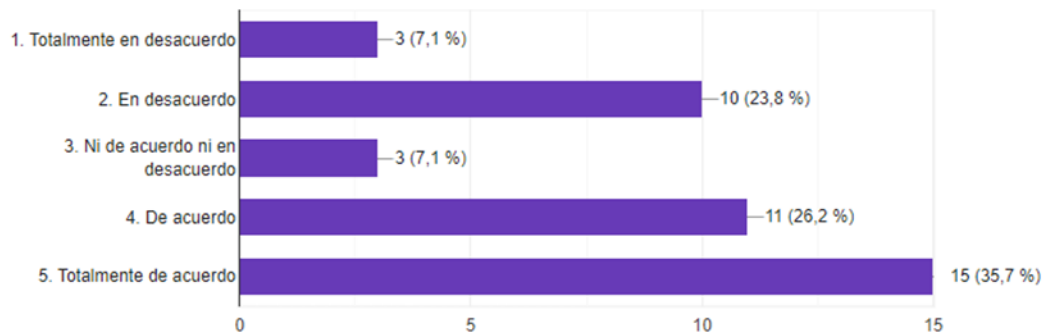
42 respuestas



13. El RedBird FMX detecta los factores que afectan al comportamiento aerodinámico del avión durante las pruebas de simulación

[Copiar](#)

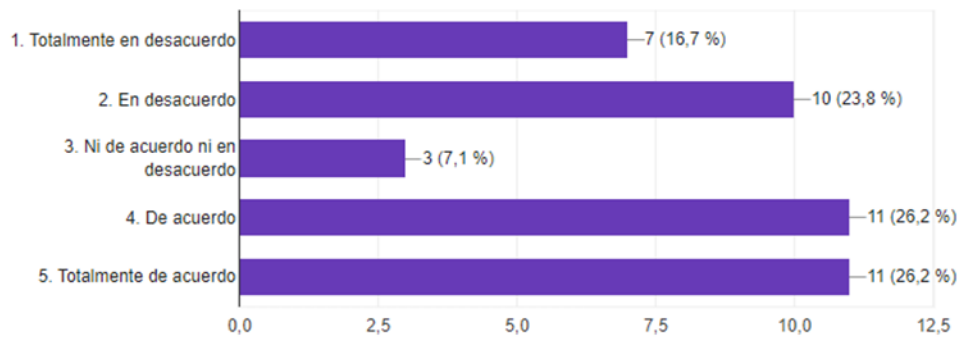
42 respuestas



14. El RedBird FMX cuenta con un sistema de comunicación que permite al piloto desarrollar la capacidad de trabajo con otros pilotos y controladores de tráfico aéreo para completar una tarea o misión

[Copiar](#)

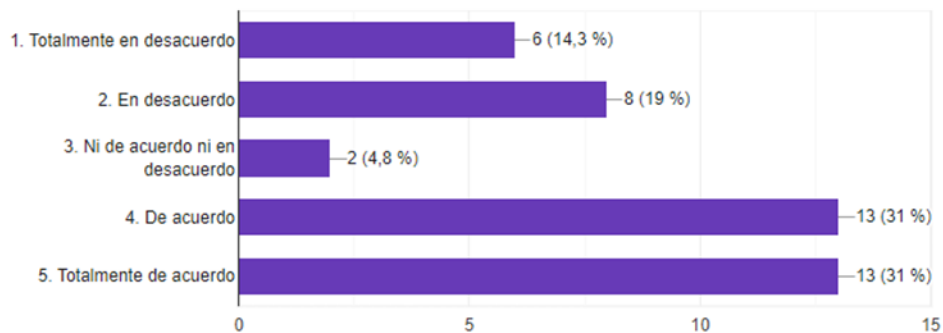
42 respuestas



15. El RedBird FMX permite al piloto experimentar cambios en la condición de la aeronave, como fugas de combustible, humo o fuego.

[Copiar](#)

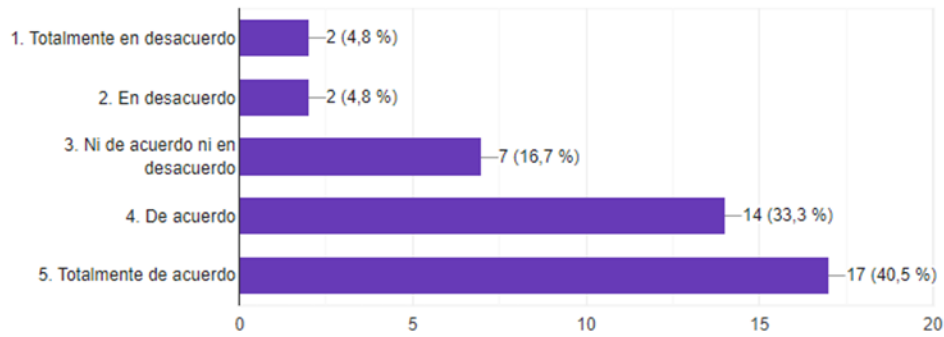
42 respuestas



16. El RedBird FMX ayuda a mejorar el conocimiento de los pilotos sobre las reglas y regulaciones de vuelo.

[Copiar](#)

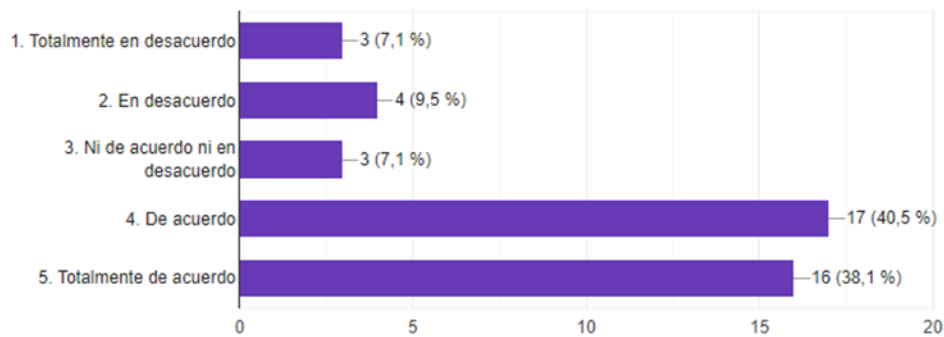
42 respuestas



17. El RedBird FMX es útil para mejorar la capacidad de monitorear múltiples sistemas en una situación de emergencia, al mismo tiempo.

[Copiar](#)

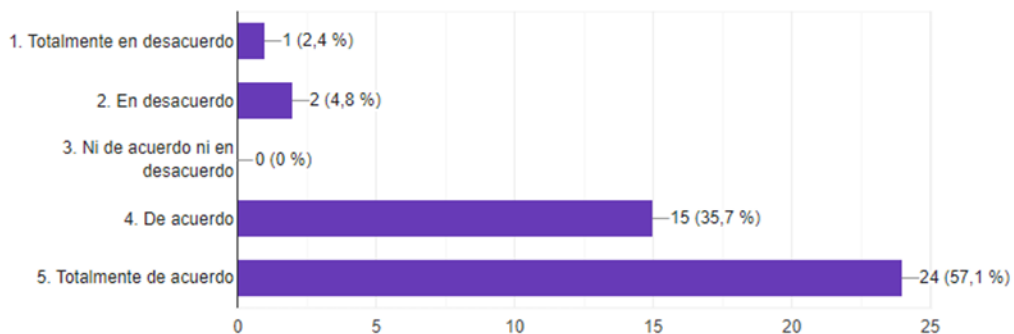
42 respuestas



18. El RedBird FMX ayuda a los pilotos básicos a aprender a gestionar los recursos de cabina como los controles de vuelo, instrumentos de navegación y motor

[Copiar](#)

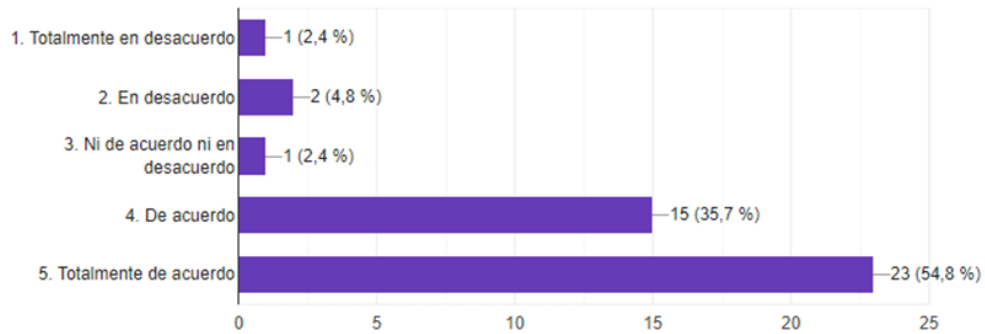
42 respuestas



19. Un simulador de vuelo con IA podría ayudar a los pilotos básicos a mejorar sus habilidades de toma de decisiones bajo presión

[Copiar](#)

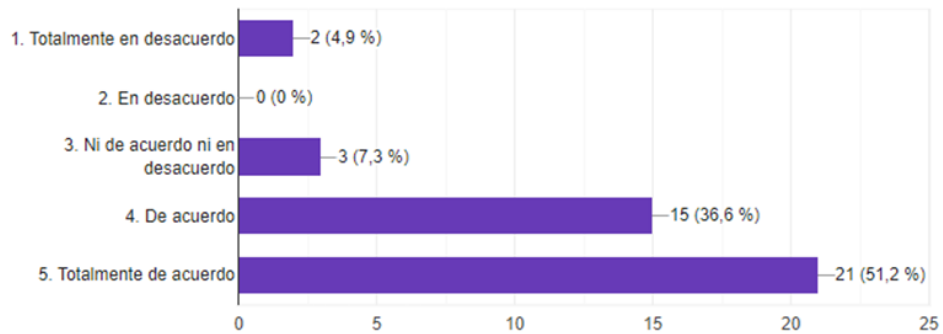
42 respuestas



20. Los simuladores de vuelo con IA son más personalizados que los métodos de entrenamiento tradicionales.

[Copiar](#)

41 respuestas



Anexo B. Consentimiento Informado

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

El señor teniente coronel JAMES EVELIO TOTENA GIRÓN Director de la Escuela de Aviación de la Policía Nacional de Colombia.

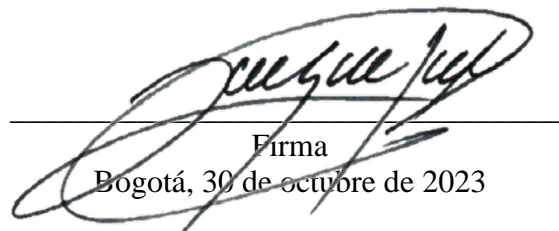
Manifiesto que he leído y entendido la hoja de información que se me ha entregado, que he hecho las preguntas que me surgieron sobre el proyecto y que he recibido información suficiente sobre el mismo.

Comprendo que mi participación es totalmente voluntaria, que puedo retirarme del estudio cuando quiera sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.

Presto libremente mi conformidad para participar en el Proyecto de Investigación titulado **“Integración de un simulador de vuelo con inteligencia artificial para las actividades de entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la ESAVI”**.

He sido también informado/a de que mis datos personales serán protegidos con las garantías Ley de Protección de Datos Personales o Ley 1581 de 2012.

Tomando ello en consideración, OTORGO mi CONSENTIMIENTO para cubrir los objetivos especificados en el proyecto.


Firma
Bogotá, 30 de octubre de 2023

Anexo C. Validación instrumento de medición

**UNIVERSIDA EAN
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS
TRABAJO DE GRADO - MONOGRAFÍA**

**VALIDACION CUESTIONARIO PARA RECOLECCION DE INFORMACIÓN
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN ESCALA DE LIKERT**

TITULO DEL PROYECTO

**INTEGRACIÓN DE UN SIMULADOR DE VUELO CON INTELIGENCIA
ARTIFICIAL PARA LAS ACTIVIDADES DE ENTRENAMIENTO Y
REENTRENAMIENTO DE LOS PILOTOS EN LA ESAVI**

Asesor Metodológico: Andrés Felipe Guarnizo Saavedra

Autores:

Cristian Álzate Zuluaga

Juan Camilo Montilla Casallas

Julián Andrés Correa Cadavid

Señor evaluador:

Concedor de su experiencia **en el campo de aviación policial**, le solicitamos su valiosa colaboración como juez para validar los contenidos del siguiente instrumento de recolección de información, en el marco del proyecto de investigación titulado **Integración de un simulador de vuelo con inteligencia artificial para las actividades de entrenamiento y reentrenamiento de los pilotos en la ESAVI**, trabajo de grado para optar al título de Magíster en Gerencia de Proyectos de Universidad EAN

1. INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO Y EL INSTRUMENTO

El presente instrumento se aplicará a 42 pilotos con acceso a los controles de la ESAVI. La recopilación de información a través del cuestionario pretende responder alcanzar el objetivo general; Caracterizar el funcionamiento de un simulador de vuelo basado en inteligencia artificial

(IA) para la optimización del entrenamiento y reentrenamiento de pilotos en la Escuela de Aviación de la Policía Nacional, a través de los siguientes objetivos:

Primer Objetivo: Indagar los avances tecnológicos en cuanto a simuladores de vuelo para el entrenamiento de los pilotos de la ESAVI.

Segundo Objetivo: Describir la importancia de la inteligencia artificial en el sistema de simulación para la formación de pilotos.

Tercer Objetivo: Proponer el uso de un nuevo simulador de vuelo basado en inteligencia artificial para la capacitación y entrenamiento de los pilotos de la Policía Nacional

Este cuestionario consta de 20 enunciados afirmativos que permiten medir el nivel de acuerdo o desacuerdo que contrastan las características del simulador RedBird FMX con las de un simulador de vuelo basado en IA; el cual puede mejorar la experiencia de los pilotos en los test de simulación, mediante la recopilación de errores y la asignación de una amplia variedad de fases de prueba que contribuyan a la eliminación de riesgos y potenciación de habilidades multitarea en las operaciones aéreas.

Cada una de las variables planteadas en la investigación está conformada por 5 enunciados y a cada uno le corresponde una escala de valoración donde 1 es “totalmente en desacuerdo”, 2 “en desacuerdo”, 3 “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, 4 “de acuerdo” y 5 “totalmente de acuerdo” Cada enunciado será evaluado previo consentimiento informado del participante.

2. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

Los criterios a partir de los cuales se pretende evaluar los ítems del cuestionario de recolección de información, son:

PERTINENCIA: Es la forma en la que está escrita la pregunta (sea abierta o cerrada), la cual debe ser lógica, coherente, clara y comprensible.

COHERENCIA: Evalúa lo oportuno y adecuado de cada pregunta en relación con el tema propuesto en la investigación.

LENGUAJE: Evalúa si la terminología se ajusta a las características de la población. La redacción tiene en cuenta la sintaxis y la semántica del lenguaje utilizado.

OBSERVACIONES: Si el ítem es inadecuado, frente a la pertinencia se debe escribir la razón o sugerencia para mejorarlo o replantearlo. Igualmente, frente a la coherencia si el ítem no es coherente debe escribir la razón o sugerencia.

ACEPTACIÓN: está conformado por dos posiciones SI o NO, en la cual el evaluador determina si el ítem es aceptado o no.

De acuerdo con los criterios anteriores usted podrá marcar en la planilla de evaluación con una X en el espacio correspondiente a los ítem adecuado o inadecuado, si es el caso realizar las observaciones y luego en el ítem ACEPTADO marcar con una X, SI o NO.

ESCALA DE CALIFICACIÓN DE CADA ÍTEM: La escala de calificación es de 1 a 3, siendo 3 el valor máximo asignado y 1 el menor.

Para su diligenciamiento se anexa la siguiente rejilla con el cuestionario, con el fin de revisarlo y poder realizar la evaluación correspondiente.

Rejilla de valoración del instrumento

VARIABLE	PREMISA	PERTINENCIA	COHERENCIA	LENGUAJE	OBSERVACIONES	ACEPTACIÓN SI/NO
Sistema de detección de errores de la IA	1. El simulador puede evaluar la capacidad del piloto para mantener la aeronave en posición y navegar hacia su destino.	3	3	3	Especificar el nombre del entrenador de vuelo con el que actualmente cuenta la ESAVI; El RedBird FMX puede evaluar la capacidad del piloto para mantener la aeronave en posición y navegar hacia su destino.	SI
	2. Los simuladores de entrenamiento tradicional permiten conocer el comportamiento del piloto durante el vuelo	3	3	2	Especificar el tipo de comportamiento; El RedBird FMX reconoce el comportamiento anímico y la condición física del piloto durante las pruebas de simulación	SI
	3. Los simuladores de vuelo convencional permiten al piloto maniobrar con varios grados de libertad	3	3	2	El RedBird FMX permite al piloto maniobrar con total libertad	SI
	4. Cuando los pilotos cometen una variedad de errores en las pruebas de entrenamiento, los simuladores convencionales pueden emitir una alarma y proporcionarle al piloto información sobre la falla para corregirla y evitar un accidente	3	3	2	Cuando los pilotos cometen una variedad de errores en las tareas de entrenamiento, el RedBird FMX puede emitir una alarma y proporcionarle al piloto información sobre la falla para corregirla y evitar un accidente	SI
	5. Los simuladores de vuelo convencional recopilan información sobre los errores de cálculo, errores de juicio o errores de procedimiento cometidos por los pilotos durante el vuelo.	3	3	2	El RedBird FMX recopila información sobre los errores de cálculo, errores de juicio o errores de procedimiento cometidos por los pilotos durante las tareas de simulación.	SI
Eliminación de riesgos	6. Los simuladores de vuelo convencional son realistas	3	2	1	El RedBird FMX proporciona una experiencia de vuelo realista y envolvente.	SI

	7. Los simuladores de vuelo se deben potenciar y adecuar a los escenarios del entorno nacional	3	2	2	La representación visual del RedBird FMX se adecua a los diversos escenarios del entorno colombiano.	NO
	8. En las pruebas de simulación tradicional los pilotos pueden experimentar fallas en los sistemas de control de vuelo, navegación, presurización, frenado, aterrizaje y evacuación que ponen en riesgo la tripulación	3	3	2	El RedBird FMX permite a los pilotos experimentar fallas en los sistemas de control de vuelo, navegación, presurización, frenado, aterrizaje y evacuación que ponen en riesgo la tripulación.	SI
	9. Un simulador de vuelo con IA permitiría a los pilotos mejorar las prácticas en situaciones no planificadas como aterrizajes forzosos o despegues abortados.	3	3	3		SI
	10. Los simuladores de vuelo convencional ayudan a los pilotos a practicar cómo lidiar con amenazas terroristas de manera segura.	3	2	2	El RedBird FMX ayuda a los pilotos a practicar cómo lidiar las emergencias de vuelo producidas por ataques terroristas de manera segura.	SI
Fases de prueba	11. La visualización gráfica de los simuladores convencionales se ajusta a las necesidades del piloto	1	1	1	Declaración repetida, se sugirió cambiar la premisa: El simulador RedBird FMX puede generar condiciones climáticas adversas, como tormentas eléctricas, fuertes vientos y turbulencias para que los pilotos tomen decisiones rápidas y controlen la aeronave	NO
	12. El simulador de vuelo convencional puede evaluar la capacidad del piloto para manejar el estrés y la fatiga y tomar decisiones seguras en situaciones difíciles	3	1	2	En una situación de emergencia el RedBird FMX puede evaluar la capacidad del piloto para manejar el estrés y la fatiga	SI

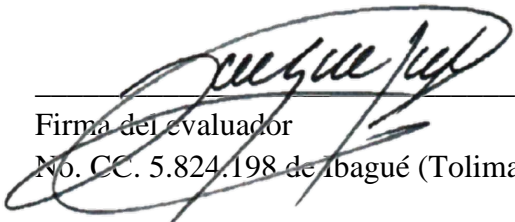
	13. Las pruebas de simulación tradicional evalúan el comportamiento estático y dinámico de la aeronave	2	1	2	El RedBird FMX detecta los factores que afectan al comportamiento aerodinámico del avión durante las pruebas de simulación	NO
	14. Las pruebas de simulación tradicional permiten evaluar la capacidad del piloto para trabajar con otros pilotos y controladores de tráfico aéreo para completar una tarea o misión	3	2	2	El RedBird FMX cuenta con un sistema de comunicación que permite al piloto desarrollar la capacidad de trabajo con otros pilotos y controladores de tráfico aéreo para completar una tarea o misión	NO
	15. En el entrenamiento de simulación tradicional el piloto puede experimentar cambios en la condición de la aeronave, como fugas de combustible, humo o fuego	3	3	2	El RedBird FMX permite al piloto experimentar cambios en la condición de la aeronave, como fugas de combustible, humo o fuego.	SI
Habilidades multitarea	16. Las pruebas de simulación tradicional ayudan a mejorar el conocimiento de los pilotos sobre las reglas y regulaciones de vuelo	3	3	2	El RedBird FMX ayuda a mejorar el conocimiento de los pilotos sobre las reglas y regulaciones de vuelo	SI
	17. Los simuladores de vuelo convencionales son útiles para mejorar las habilidades de vuelo en situaciones de emergencia	2	2	2	Se sugirió la siguiente premisa: El RedBird FMX es útil para mejorar la capacidad de monitorear múltiples sistemas en una situación de emergencia, al mismo tiempo	NO
	18. Los simuladores de vuelo convencional ayudan a los pilotos novatos a aprender a gestionar los sistemas de la aeronave, como los motores, los controles de vuelo y los instrumentos de navegación	3	2	1	El RedBird FMX ayuda a los pilotos básicos a aprender a gestionar los recursos de cabina como los controles de vuelo, instrumentos de navegación y motor	SI
	19. Los simuladores de vuelo con IA podrían ayudar a los pilotos novatos a mejorar sus	3	3	2	Un simulador de vuelo con IA podría ayudar a los pilotos básicos a mejorar sus habilidades de toma de decisiones bajo presión	SI

	habilidades de toma de decisiones bajo presión					
	20. Los simuladores de vuelo con IA son más personalizados que los métodos de entrenamiento tradicionales.	3	3	2	Los simuladores de vuelo con IA son más personalizados que los métodos de entrenamiento tradicionales.	SI

Señor evaluador, su labor fue muy importante en el proceso de diseño y construcción de este instrumento. Esta fase de evaluación por jueces expertos es muy significativa para aplicar cuestionarios válidos y coherentes con el propósito del estudio que se está adelantando. Agradecemos su participación y sus valiosas observaciones.

El señor Teniente coronel JAMES EVELIO TOTENA GIRON, se encuentra como Director de la Escuela de Aviación Policial, unidad en la demuestra una excelente gestión desde el nivel educativo, administrativo y estratégico, en cumplimiento a la misionalidad de la Dirección de Educación Policial, con su liderazgo y compromiso, posiciona la escuela a nivel nacional e internacional como un ente Educativo Aeronáutico de alta calidad que permite atraer el interés y la participación de fuerzas homologas de los países que conforman el Plan de Acción Conjunta de Seguridad Regional USCAP, como el acompañamiento de una importante representación de la Armada y Ejército Nacional de Colombia.

San Sebastián de mariquita, 30 de octubre 2023.


Firma del evaluador
No. CC. 5.824.198 de Ibagué (Tolima)