Evaluación del Funcionamiento y Desempeño de la Plataforma de Simulación de Control de Aproximación y su Contribución al Proceso de Formación y Entrenamiento Aeronáutico en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea para el Año 2026.

Proaño Yánez, Jonathan Joel y Vega Ugsha, Jennifer Nicol

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

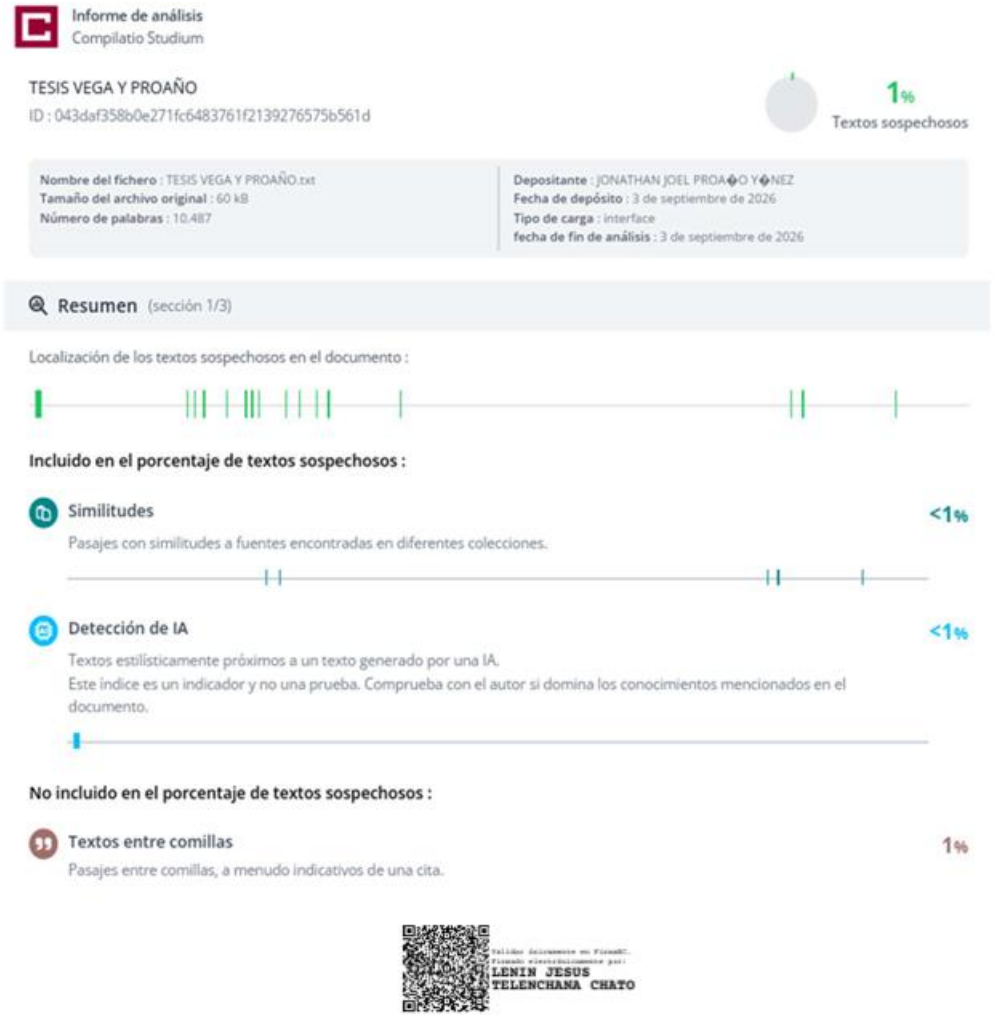
Trabajo de Integración Curricular, previo a la Obtención del Título de Tecnólogo Superior Universitario en Ciencias Militares Aeronáuticas

Subs. Téc. Avc. Telenchana Chato, Lenin Jesús

04 de septiembre de 2026

Latacunga

Reporte de Verificación de Contenidos



Informe de análisis
Compilatio Studium

TESIS VEGA Y PROAÑO
ID : 043daf358b0e271fc6483761f2139276575b561d

1%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS VEGA Y PROAÑO.txt
Tamaño del archivo original : 60 kB
Número de palabras : 10.487

Depositante : JONATHAN JOEL PROA�O Y�NEZ
Fecha de depósito : 3 de septiembre de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 3 de septiembre de 2026

Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :

Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes <1%
Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

Detección de IA <1%
Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.
Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.

No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas 1%
Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Validez documento en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
LENIN JESUS
TELENCHANA CHATO

Subs. Téc. Avc. Telenchana Chato, Lenin Jesús

Director de Tesis

C.C.: 1803380920

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "**Evaluación del funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación y su contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea para el año 2026**" fue realizado por los señores **Proaño Yánez, Jonathan Joel** y **Vega Ugsha, Jennifer Nicol;** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 04 de septiembre del 2026

Validar documento en Firmadr.
Firmado electrónicamente por:
LENIN JESUS
TELENCHANA CHATO

Subs. Téc. Avc. Telenchana Chato, Lenin Jesús

Director de Tesis

C.C.: 1803380920

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Proaño Yánez, Jonathan Joel**, con cédula de ciudadanía N.º 1750243337 y **Vega Ugsha, Jennifer Nicol**, con cédula de ciudadanía N.º 0504741398 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: "**Evaluación del funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación y su contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea para el año 2026**" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 04 de septiembre del 2026

Jonathan Joel Proano Yanez

Proaño Yánez, Jonathan Joel

C.C.: 1750243337

JENNIFER NICOL VEGA UGSHA

Vega Ugsha, Jennifer Nicol

C.C.: 0504741398

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Autorización de Publicación

Nosotros **Proaño Yánez, Jonathan Joel**, con cédula de ciudadanía N.º 1750243337 y **Vega Ugsha, Jennifer Nicol**, con cédula de ciudadanía N.º 0504741398 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "**Evaluación del funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación y su contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea para el año 2026**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 04 de septiembre del 2026

Jonathan Joel Proano Yanez

Proaño Yánez, Jonathan Joel

C.C.: 1750243337

JENNIFER NICOL VEGA UGSHA

Vega Ugsha, Jennifer Nicol

C.C.: 0504741398

Dedicatoria

Dedico este trabajo, con profundo cariño y gratitud, a mis padres, **Lorgia Magaly Yánez Berrónez** y **David Germán Robles Flores**, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida y en este proceso de formación.

Gracias por acompañarme con su amor, paciencia y confianza; por cada consejo oportuno, por los sacrificios realizados y por animarme a continuar cuando el camino parecía difícil. Sus enseñanzas me han dado la fuerza necesaria para perseguir mis metas con responsabilidad, esfuerzo y perseverancia.

Extiendo esta dedicatoria a mis abuelos y a toda mi familia, quienes de una u otra manera han estado presentes, brindándome apoyo, palabras de ánimo y afecto sincero. Tenerlos a mi lado ha sido una motivación constante para seguir creciendo y dar lo mejor de mí.

Este logro representa no solo mi esfuerzo, sino también el respaldo, los valores y la confianza que cada uno de ustedes ha depositado en mí. Espero que este paso los llene de orgullo, así como yo me siento orgulloso y agradecido de tenerlos en mi vida.

Con todo mi amor.

PROAÑO YÁNEZ, JONATHAN JOEL

Dedicatoria

Con todo mi cariño y agradecimiento, dedico este trabajo a mis amados padres, **Mario Hernán Vega Licta** y **María Alicia Ugsha Vega.** No existen palabras suficientes para agradecerles por ser mi mayor inspiración y fortaleza en este camino. Este título lleva grabado el sudor de su trabajo, sus oraciones en silencio, su amor sin límites y cada uno de los sacrificios que hicieron, hoy tiene su recompensa. Todo lo que soy y lo que he logrado es gracias a su bendición; este triunfo es, antes que mío, enteramente de ustedes.

A mis amadas hermanas, **Adriana Vega** y **Tiffany Vega**. Gracias por alegrarme en los días difíciles y ser la motivación constante para no rendirme jamás. Verlas a mi lado en cada paso me enseñó el verdadero significado de la lealtad y el amor.

A mis adorados abuelitos, **Julio Ugsha** y **Margarita Vega**. Les agradezco por sus manos sabias que me sostuvieron con ternura, por esas oraciones llenas de fe que me protegieron en cada jornada. Su amor es el tesoro más grande que llevo guardado en el alma.

A los que me vieron dar los primeros pasos de este gran sueño, aunque no están aquí, sentí su presencia en cada prueba y su recuerdo fue el impulso que me levantó cuando las fuerzas faltaban. Sé que hoy sonríen conmigo y celebran este logro que también les pertenece.

Al mirar atrás y ver culminada esta etapa en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, entrego este logro como el testimonio de que el amor de una familia puede vencer cualquier distancia, cansancio o adversidad.

Con todo mi amor y eterno agradecimiento:

VEGA UGSHA, JENNIFER NICOL

Agradecimiento

Expreso mi sincero agradecimiento a la **Escuela Técnica de la Fuerza Aérea,** por brindarme la oportunidad de formar parte de esta noble institución y permitirme prepararme en los ámbitos militar, académico y profesional. Ser parte de las damas y caballeros del aire representa un honor y un compromiso que llevaré con responsabilidad.

Agradezco profundamente a mis padres, abuelos y a toda mi familia por su respaldo constante durante este proceso de formación. Su cariño, comprensión y palabras de aliento fueron fundamentales para mantenerme firme ante cada reto y alcanzar esta meta.

De manera especial, agradezco a mis instructores, docentes y autoridades, quienes compartieron sus conocimientos, experiencias y valores con dedicación. Su disciplina, exigencia y orientación contribuyeron no solo a mi preparación técnica, sino también al fortalecimiento de mi carácter, liderazgo, compromiso y vocación de servicio.

También agradezco a mis compañeros, con quienes compartí jornadas de aprendizaje, esfuerzo y superación. La camaradería y el apoyo mutuo hicieron de esta etapa una experiencia valiosa e inolvidable.

Finalmente, extiendo mi gratitud a todas las personas que, de distintas maneras, aportaron a mi crecimiento e hicieron posible este logro. Cada enseñanza recibida será llevada con orgullo y aplicada con responsabilidad en el camino que continúa.

PROAÑO YÁNEZ, JONATHAN JOEL

Agradecimiento

A la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, por haberme acogido en sus aulas y convertirme en el profesional que soy hoy. Gracias a la institución y a cada uno de mis instructores por enseñarme el valor de la disciplina, la excelencia y el compromiso con la patria, guiándome con paciencia y exigencia.

A mi amada familia: a mis padres, a mis hermanas, a mis abuelitos y a todos mis tíos y seres queridos. Gracias por ser el cimiento de mi vida, por sus palabras de aliento cuando las jornadas se hacían largas y por creer en mí incluso cuando las pruebas parecían difíciles. Este logro refleja la unión y el respaldo incondicional que siempre me han brindado.

A mis compañeros de promoción, a mis amigos de siempre y de manera especial a Danna, por ser esa red de apoyo constante en los momentos de mayor presión. A quienes compartieron conmigo la tensión de cada día y las risas para aliviar el cansancio: gracias por la verdadera camaradería, por la lealtad y por hacer de esta etapa de formación un camino imborrable que siempre llevaré con orgullo.

VEGA UGSHA, JENNIFER NICOL

Índice de contenido

Carátula 1
Reporte de Verificación de Contenidos 2
Certificación 3
Responsabilidad de Autoría 4
Autorización de Publicación 5
Dedicatoria....6
Dedicatoria....7
Agradecimiento 8
Agradecimiento 9
Índice de contenido 10
Índice de tablas....15
Resumen 16
Abstract....17
Capítulo I 18
Introducción 18
Planteamiento del Problema 18
Formulación del Problema o Pregunta de Investigación....19
Objetivos....19
Objetivo general....19
Objetivos específicos 19
Justificación 20
Capítulo II 21
Estado del arte....21
Antecedentes de la Simulación Aplicada al Control de Tránsito Aéreo 21
La fidelidad y Realismo de la Simulación en el Control de Tránsito Aéreo. 24

Simulación y Evaluación del Desempeño....25
Marco Teórico....25
Control del tránsito aéreo....25
Servicio de control de aproximación....26
Área de control terminal (CTA/TMA)....28
Simulación aeronáutica....28
Simulación de control de tránsito aéreo....29
Simulación basada en competencias....29
Fidelidad de los simuladores....30
Funcionamiento de una plataforma de simulación....30
Desempeño del simulador....31
Desempeño humano dentro del simulador....32
Carga de trabajo y complejidad....32
Conciencia situacional....*33*
Entrenamiento progresivo....*33*
Evaluación del entrenamiento....34
Proyectos y Experiencias Internacionales Similares....34
Estados Unidos: Federal Aviation Administration....34
Francia: École Nationale de l'Aviation Civile....35
Europa: EUROCONTROL....*35*
Alemania: DLR....35
Estonia: Estonian Aviation Academy....*36*
Vietnam: Desarrollo de un simulador ATC aplicado a educación....*36*
Portugal: Simulador ATC militar integrado con plataforma educativa....*36*
China: Evaluación cuantitativa del entrenamiento ATC....*37*
Experiencias Internacionales como Referencia para la ETFA....37

Modelo Conceptual para la Evaluación del Simulador de la ETFA 38

Dimensión 1: Funcionamiento de la plataforma *39*

Dimensión 2: Desempeño durante la simulación *39*

Dimensión 3: Contribución a la formación *39*

Relación Entre el Marco Teórico y el Proyecto 39

Fundamentación del Proyecto 40

Capítulo III 41

Metodología 41

Enfoque de Investigación 41

Tipo de Investigación 41

Diseño de Investigación 42

Entorno Tecnológico de Simulación 42

Unidad de Análisis 43

Variables de Investigación 43

Variable independiente *43*

Variable dependiente *43*

Dimensiones de la Variable Independiente 43

Funcionamiento técnico *43*

Capacidad Operacional del Entorno Simulado *44*

Desempeño del Sistema *44*

Dimensiones de la Variable Dependiente 44

Desarrollo de competencias *44*

Efectividad del entrenamiento *44*

Percepción de estudiantes e instructores *44*

Configuración del CTA para la Investigación 45

Escenarios de Simulación 45

Escenario 1: Nivel básico *45*

Escenario 2: Nivel intermedio *45*

Escenario 3: Nivel avanzado *46*

Aplicación de EuroScope 46

Aplicación de VATSIM 46

Aplicación de IVAO 47

Técnicas de Recopilación de Datos 47

Instrumentos de Investigación 47

Instrumento 1. Lista de verificación técnica *48*

Instrumento 2. Ficha de prueba funcional *48*

Instrumento 3. Rúbrica de desempeño ATC *48*

Instrumento 4. Cuestionario *49*

Instrumento 5. Registro de incidencias *49*

Procedimiento de Evaluación 50

Fase I. Diagnóstico inicial *50*

Fase II. Configuración *50*

Fase III. Prueba técnica *50*

Fase IV. Ejercicios de simulación *50*

Fase V. Evaluación del entrenamiento *50*

Fase VI. Análisis *50*

Triangulación de Resultados 50

Escala de Valoración 51

Comparación de los Entornos de Simulación 51

Validez y Confiabilidad 52

Control de Sesgos y Originalidad de la Investigación 53

Resultado Esperado de la Metodología 53

Capítulo IV 55

Análisis y Discusión de los Resultados 55

Consideraciones Preliminares 55

Análisis de los Resultados Obtenidos de la Encuesta Aplicada a los Alumnos 55

Funcionamiento técnico de la plataforma *56*

Realismo y fidelidad de los escenarios de simulación *56*

Contribución al desarrollo de competencias operacionales *57*

Análisis de la Información Obtenida Mediante la Entrevista a los Instructores 58

Resultados de la Observación Directa 58

Discusión de los Resultados 59

Capítulo V 61

Conclusiones y Recomendaciones 61

Conclusiones 61

Recomendaciones 62

Referencias 64

Apéndices 66

Índice de tablas

Tabla 1 Experiencias Internacionales en Simulación ATC. 37

Tabla 2 Escala Porcentual para Establecer el Nivel de Cumplimiento 51

Tabla 3 Comparación Técnica de los Entornos de Simulación ATC. 51

Resumen

El presente trabajo de integración curricular evaluó el funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea (ETFA) durante el año 2026, determinando su aporte en la formación técnica de los futuros controladores de tránsito aéreo. A partir de una problemática centrada en la necesidad de garantizar escenarios de práctica realistas y alineados con la normativa de la OACI y la regulación aeronáutica ecuatoriana, la investigación adoptó un enfoque mixto con predominio cuantitativo y un diseño descriptivo, evaluativo y no experimental de corte transversal. La recolección de información combinó la aplicación de cuestionarios estructurados en escala Likert a los alumnos, entrevistas semiestructuradas a los instructores. Los resultados evidenciaron que la plataforma presenta una operatividad técnica estable y funcional, facilitando la recreación de situaciones clave del área de control terminal (CTA), tales como la secuenciación de tráfico y la gestión de transferencias entre dependencias. Asimismo, se determinó que la simulación contribuye de manera directa al desarrollo de competencias operacionales críticas, destacando el fortalecimiento de la conciencia situacional, la fraseología aeronáutica, la toma de decisiones en tiempo real y la resolución de conflictos en un entorno controlado y libre de riesgos operacionales. La efectividad del simulador no depende únicamente de su infraestructura tecnológica, sino de la progresión pedagógica en la complejidad de los ejercicios y de la retroalimentación continua. Finalmente, se recomienda la actualización periódica de los archivos de sector y escenarios, así como la implementación de un esquema permanente de evaluación funcional.

Palabras clave: Simulación aeronáutica, Control de aproximación, Formación basada en competencias, Conciencia situacional, Tránsito aéreo, Escuela Técnica de la Fuerza Aérea.

Abstract

This curriculum integration project evaluated the performance and operation of the approach control simulation platform at the Technical School of the Air Force (ETFA) during 2026, determining its contribution to the technical training of future air traffic controllers. Addressing the need to ensure realistic practice environments aligned with ICAO standards and Ecuadorian aviation regulations, the study adopted a mixed-methods approach with a quantitative predominance, structured under a descriptive, evaluative, and non-experimental cross-sectional design. Data collection integrated structured Likert-scale surveys administered to students, semi-structured interviews with instructors, and direct technical observation grids applied during simulator sessions. The findings demonstrated that the platform operates with adequate technical stability, effectively replicating key terminal control area (CTA) scenarios, including traffic sequencing, altitude assignment, radar vectoring, and inter-unit handoffs. Furthermore, the simulation was found to directly enhance critical operational competencies, particularly situational awareness, aeronautical phraseology, real-time decision-making, and conflict resolution within a safe, risk-free environment. The study concludes that the platform's educational effectiveness relies not only on its technological capabilities but also on the pedagogical progression of scenario complexity and systematic instructor debriefing. Key recommendations include the continuous updating of sector files and operational scenarios, alongside the establishment of a permanent technical evaluation framework.

Keywords: Aeronautical simulation, Approach control, Competency-based training, Situational awareness, Air traffic, Technical School of the Air Force.

Capítulo I

Introducción

Para los alumnos de la ETFA, la plataforma de simulación de tránsito aéreo resulta ser una herramienta indispensable, siendo el servicio de control de aproximación clave para preservar la seguridad operacional. El análisis continuo de la plataforma ayuda a verificar la precisión de los escenarios simulados, y al mismo tiempo, potencia las capacidades críticas como el juzgamiento en tiempo real, la gestión de la separación entre aeronaves y la fraseología aeronáutica en ambientes de alta carga de trabajo.

En este contexto, el trabajo de titulación desarrollado en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea (ETFA), entidad encargada de la formación del personal de aerotécnicos de la Fuerza Aérea, evalúa el funcionamiento y rendimiento del simulador de control de aproximación mediante la ejecución de ensayos operativos, diagnóstico de escenarios y la medición de indicadores. La información obtenida servirá para mitigar falencias técnicas, optimizar los procesos metodológicos y elevar el aprendizaje práctico del alumno.

Mediante la investigación realizada se busca establecer un diagnóstico con el cual se permita verificar el cumplimiento de los estándares de la OACI y la normativa ecuatoriana, para determinar la contribución real de la plataforma en el proceso de enseñanza y aprendizaje durante el año 2026. Al aportar evidencias operacionales y recomendaciones fundamentales, esta investigación permite contribuir al fortalecimiento de la instrucción aeronáutica y a la optimización de los recursos de simulación institucionales.

Planteamiento del Problema

La preparación de controladores de tránsito aéreo necesita de herramientas tecnológicas que evidencien con certeza las condiciones operacionales de un escenario existente. El Control de Aproximación (APP) demanda un riguroso nivel de precisión, toma de decisiones rápidas, control del estrés y conciencia situacional del personal, por la dificultad que implica dar una secuencia, separar y guiar a las aeronaves en las diferentes fases de ascenso

y descenso en las cercanías de un aeropuerto. En así que, una plataforma de simulación con deficiencias técnicas o limitaciones funcionales puede afectar directamente el desarrollo de competencias esenciales como la comunicación aeronáutica, la resolución de conflictos y la gestión del tráfico aéreo.

En respuesta a esta necesidad pedagógica y operativa, la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea (ETFA) ha proyectado la integración de una plataforma de simulación especializada en el servicio de control de aproximación dentro de sus instalaciones de simulación de tránsito aéreo. No obstante, la sola integración técnica o instalación de un sistema simulado no garantiza de manera automática la efectividad del aprendizaje ni la idoneidad operacional.

Formulación del Problema o Pregunta de Investigación

¿Cómo influye el funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación en el proceso de formación y entrenamiento aeronáutico de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea durante el año 2026?

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación y su contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea durante el año 2026.

Objetivos específicos

Realizar pruebas operacionales de la plataforma de simulación en escenarios de control de aproximación.

Analizar los resultados obtenidos para determinar el impacto de la plataforma en el entrenamiento y desempeño del personal en formación.

Aplicar instrumentos de evaluación y análisis de resultados del entrenamiento en simulación.

Justificación

Es necesario determinar, criterios técnicos y académicos de las condiciones actuales de operación del simulador de Tránsito Aéreo de la ETFA, particularmente en el componente correspondiente al Servicio de Control de Aproximación desarrollado dentro de un Área de Control Terminal (CTA)**.** El control de aproximación requiere que los alumnos integren conocimientos, procedimientos, comunicaciones, coordinación, separación y toma de decisiones bajo diferentes niveles de complejidad. Por ello, es necesario verificar que el simulador permita representar escenarios de aproximación que sean adecuados para el entrenamiento y que contribuyan al desarrollo de las competencias aeronáuticas previstas, la investigación permitirá identificar fortalezas, limitaciones y posibles deficiencias en el funcionamiento de la plataforma, así como determinar su aporte real al proceso de formación.

Es factible porque la ETFA cuenta con un simulador de Tránsito Aéreo existente y disponible para actividades de entrenamiento, la evaluación puede realizarse utilizando la infraestructura, recursos tecnológicos y personal institucional disponibles. La investigación no requiere inicialmente la adquisición de una nueva plataforma, sino la aplicación de procedimientos de evaluación técnica y académica mediante pruebas funcionales, observación e indicadores de desempeño de los programas (EUROESCOPE).

La investigación busca mejorar el uso del simulador en el presente año, por medio de la recopilación de información de datos que servirá para orientar actividades de mantenimiento, actualización, configuración de escenarios y optimización del entrenamiento de control de aproximación.

Asimismo, el trabajo de investigación permitirá determinar, a partir de evidencias, si el simulador opera adecuadamente, cuál es el nivel de desempeño y su contribución en la formación de los alumnos de la ETFA, brindando información de calidad para la toma de decisiones y la mejora continua de la institución.

Capítulo II

Estado del arte

Antecedentes de la Simulación Aplicada al Control de Tránsito Aéreo

La formación de los controladores de tránsito aéreo requiere desarrollar competencias que permitan gestionar el tránsito de manera segura y eficiente. Debido a las características dinámicas de esta actividad, la simulación se ha incorporado progresivamente como una herramienta para reproducir escenarios operacionales, practicar procedimientos, desarrollar habilidades y evaluar el desempeño de los alumnos en condiciones controladas.

Uno de los antecedentes fundamentales sobre la utilización de simuladores en el ámbito del control de tránsito aéreo corresponde al estudio. Según National Research Council (2011), los simuladores son modelos de software de situaciones reales o imaginarias que permiten a las personas modificar los escenarios según estas lo requieran (National Research Council, 2011, pág. 10), las situaciones reales de entrenamiento pueden estar condicionadas por aspectos relacionados con la seguridad y por la dificultad de exponer al alumno a determinados escenarios. Las simulaciones pueden utilizarse como un suplemento dentro del aprendizaje, al realizar prácticas en el ambiente operacional seguro. Esta consideración constituye uno de los fundamentos para incorporar plataformas de simulación en instituciones de formación aeronáutica, particularmente cuando se requiere que el alumno practique procedimientos antes de asumir responsabilidades operacionales en aeropuertos reales. La simulación permite, además, incrementar progresivamente la dificultad de los ejercicios y controlar las variables que intervienen en el entrenamiento (situaciones normales, contingencias y emergencias).

En relación con la evaluación del desempeño, se documentó que los ejercicios simulados de tránsito aéreo pueden considerar variables como conflictos, ocupación, comunicaciones y demoras. Estas categorías fueron identificadas como elementos relevantes para valorar el desempeño de un controlador durante ejercicios simulados Según National research Council (1997), los problemas: número y duración de las contingencias; ocupación:

escenarios en tiempo real; comunicación: número y duración de las comunicaciones tierra-aire; y demora: número y duración de las respuestas (National research Council, 1997, pág. 59). Este antecedente resulta particularmente relevante para la presente investigación porque permite establecer que la evaluación de una plataforma de simulación no debe limitarse a comprobar si el sistema funciona técnicamente. También resulta necesario determinar si el sistema permite reproducir condiciones que posibiliten observar y evaluar el desempeño del alumno durante la ejecución de ejercicios de control de aproximación.

La evolución hacia la formación basada en competencias dentro del Servicio de Tránsito Aéreo en el Ecuador se fundamenta en parámetros dictados por la OACI: La Organización de Aviación Civil Internacional ha desarrollado un enfoque de formación basado en competencias para los controladores de tránsito aéreo. El Doc. 10056 establece procedimientos destinados a orientar a los Estados, proveedores de servicios de navegación aérea y organizaciones de instrucción en el diseño y evaluación de la formación de los controladores.

La OACI define como el objetivo de la instrucción y evaluación basadas en las competencias de las personas es brindar un aporte laboral que sirve para la formación de controlador de tránsito aéreo que sea seguro y eficaz (International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)., 2022, págs. 2-1), este planteamiento modifica la manera de analizar la utilidad de una plataforma de simulación. El interés no se concentra únicamente en sus características técnicas, sino en determinar si el sistema contribuye al desarrollo y evaluación de las competencias que requiere el alumno.

El mismo documento establece que la planificación del entrenamiento debe considerar los medios que serán utilizados durante la instrucción, incluyendo expresamente los simuladores. La OACI indica que deben identificarse los: esas herramientas de simulación son muy indispensables para lograr el resultado formativo previsto (International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)., 2022, págs. 2-6).

Por consiguiente, la existencia de una plataforma de simulación dentro de la ETFA no constituye por sí misma evidencia de eficacia. El equipo, sus capacidades y sus escenarios deben guardar correspondencia con las competencias y resultados de aprendizaje establecidos.

La simulación debe ser considerada como componente de la instrucción dual, la misma que se brinda dentro de la ETFA. El Doc. 10056 reconoce expresamente que mientras la formación está empezando, las prácticas generalmente van progresando desde niveles bajos según la competencia del controlador y escenarios que no son muy complejos de resolver y depende el aprendizaje del controlador para aumentar la dificultad según requiera la formación y pueda adquirir más experiencia (International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)., 2022, págs. 4-4). Este principio de progresividad es importante para el análisis de una plataforma de control de aproximación. Un simulador destinado a la formación debe permitir modificar las condiciones del ejercicio, incrementar la complejidad de las operaciones y proporcionar escenarios apropiados para los diferentes niveles de desarrollo del alumno. Es necesario mencionar que toda la capacitación dentro de los diferentes escalones de servicio de tránsito aéreo se fundamenta en la práctica de escenarios controlados a contingencias y posterior a emergencias.

La OACI establece además que, durante la formación inicial, el desempeño práctico se desarrolla en un ambiente simulado y precisa que el equipo de simulación que se utiliza debería tener todo lo necesario para la simulación del entorno al que se va a enfrentar (International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)., 2022, págs. I-4-4). La afirmación anterior proporciona un criterio fundamental para la presente investigación: la evaluación de la plataforma debe determinar en qué medida sus características permiten representar las condiciones necesarias para el entrenamiento de control de aproximación.

La fidelidad y Realismo de la Simulación en el Control de Tránsito Aéreo.

Uno de los temas recurrentes en la literatura científica relacionada con simuladores ATC es la fidelidad. Sin embargo, la fidelidad de una plataforma no puede evaluarse únicamente por la apariencia física o tecnológica del sistema.

Según National research Council (1997) ha existido una plataforma de simulación donde se comparan dos factores que son: la realidad de los ejercicios y la validez con la que se desarrolla (National research Council, 1997, pág. 219). La inmersión del alumno en una simulación permite generar estrés, habilidades, destrezas que debe tener un controlador de tránsito aéreo dentro de sus labores diarias, el mismo autor menciona que: "Sin embargo, no existe una base teórica o empírica adecuada para determinar qué aspectos del control de tránsito aéreo deben simularse con qué nivel de fidelidad" (National research Council, 1997, pág. 219), es por ello que la exigencia de las simulaciones se fundamenta en la experiencia de los instructores, que transmiten sus conocimientos en ejercicios de acuerdo a sus vivencias en el control. Esta consideración resulta significativa para la presente investigación porque evita reducir la evaluación del simulador a aspectos como calidad gráfica, semejanza de los equipos o presentación visual de las pantallas.

El mismo organismo diferencia entre fidelidad de ingeniería y fidelidad psicológica. Esta última "La fidelidad psicológica es el grado en que la simulación reproduce los procesos psicológicos necesarios para realizar la tarea" (National research Council, 1997, pág. 219), esto adquiere especial importancia cuando el objetivo consiste en entrenar tareas cognitivas y procedimentales. Desde esta perspectiva, una plataforma puede presentar una interfaz técnicamente avanzada y, sin embargo, no reproducir adecuadamente los procesos cognitivos o procedimentales que debe desarrollar el alumno. Por ello, la evaluación propuesta debe considerar tanto el comportamiento técnico del sistema como su utilidad para desarrollar actividades propias del control de aproximación.

Simulación y Evaluación del Desempeño

"Las simulaciones de alta fidelidad se han utilizado para medir las diferencias individuales en el desempeño de los controladores" (National research Council, 1997, pág. 57), esto ha permitido que los ejercicios simulados puedan utilizarse para estudiar diferencias individuales en el desempeño y para reproducir distintas configuraciones de tráfico. Entre las variables consideradas se encuentran los conflictos, las comunicaciones, emergencias y las demoras. A través de estos parámetros mencionados se puede establecer un vínculo entre la plataforma tecnológica y la evaluación del alumno. Un simulador de control de aproximación puede convertirse, por tanto, en un instrumento que genere información para determinar si el alumno aplica procedimientos, mantiene la separación, responde adecuadamente a las instrucciones y administra el tránsito bajo diferentes niveles de complejidad.

Se debe considerar la existencia de la investigación contemporánea donde también se ha empleado simuladores para estudiar la carga mental de los controladores. (Jorge Ibáñez-Gijón, 2023) desarrolló un estudio experimental empleado simulación de control de tránsito aéreo. En los escenarios presentados, los controladores receptaban aeronaves, revisaban su información, aplicaban los criterios de separación entre aeronaves establecidas, para transferirlas al siguiente sector. Por ende, el estudio es de gran importancia ya que demuestra que los ejercicios de simulación pueden diseñarse a partir de las funciones del controlador y después analizar el desempeño de cada participante en distintas condiciones.

Marco Teórico

Control del tránsito aéreo

El control de tránsito aéreo constituye uno de los componentes fundamentales de los servicios de navegación aérea, debido a que tiene como finalidad mantener las operaciones aéreas dentro de condiciones aceptables de seguridad, orden y rapidez. En Ecuador, el Reglamento 211 establece que: "Prevenir colisiones entre aeronaves; y acelerar y mantener

ordenadamente el movimiento del tránsito aéreo” (Dirección General de Aviación Civil (DGAC)., 2019, pág. 21).

Cada dependencia ATC debe disponer de información relacionada con el movimiento proyectado y efectivo de las aeronaves, determinar las posiciones relativas entre ellas y otorgar autorizaciones e información destinadas a precautelar la seguridad operacional en todo momento. Esta disposición permite establecer que el controlador requiere integrar información, interpretación de la situación de tránsito, toma de decisiones, comunicación y coordinación durante la prestación del servicio.

Desde el punto de vista formativo e incluso de perfeccionamiento, estas funciones requieren un entrenamiento progresivo que permita al alumno desarrollar conocimientos y habilidades antes de enfrentarse a situaciones operacionales reales. En consecuencia, la simulación constituye un medio para generar situaciones controladas en las que puedan practicarse y evaluarse dichas competencias.

Servicio de control de aproximación

El control de aproximación representa una de las áreas de mayor relevancia para la presente investigación, debido a que constituye el servicio que será reproducido mediante la plataforma de simulación de la ETFA. De acuerdo con la información aeronáutica publicada por la DGAC del Ecuador, “El servicio de control de aproximación tiene por objeto proporcionar servicio de control de tránsito aéreo a los vuelos controlados que lleguen o salgan de aeródromos controlados” (Dirección General de Aviación Civil, 2026, pág. Gen 3.3).

La DGAC describe que el controlador de aproximación gestiona aeronaves que salen y llegan a uno o varios aeropuertos y establece la transferencia correspondiente con el controlador de área o con el controlador de aeródromo (DGAC, 2026). Por ello, el servicio de aproximación actúa como elemento de articulación entre las operaciones de área y las operaciones de aeródromo.

En la aviación se reconocen modalidades de “Control de Aproximación por procedimientos” y “Control de Aproximación por vigilancia” (Dirección General de Aviación Civil, 2026). Esta diferenciación resulta relevante para la presente investigación, debido a que el simulador puede utilizar escenarios que reproduzcan las condiciones operacionales requeridas para cada tipo de ejercicio. La información aeronáutica ecuatoriana también establece que el servicio de vigilancia ATS puede utilizarse para proporcionar guía vectorial a aeronaves que llegan, con el propósito de establecer un orden de aproximación eficiente y conducirlas hasta las ayudas para la aproximación final o hasta un punto desde el cual pueda completarse una aproximación visual (Dirección General de Aviación Civil, 2026). Por consiguiente, un simulador orientado al control de aproximación debe permitir representar elementos como:

Aeronaves de llegada y salida.

Diferentes niveles de tránsito.

Rumbos, velocidades y altitudes.

Instrucciones y autorizaciones.

Separación entre aeronaves.

Secuenciación.

Transferencia de tránsito.

Coordinación.

Comunicaciones.

Procedimientos de llegada y salida.

Situaciones normales y no normales.

Estos elementos servirán posteriormente para definir los indicadores mediante los cuales se evaluará la plataforma de la ETFA.

Área de control terminal (CTA/TMA)

El Área de Control Terminal constituye el espacio aéreo en el que convergen diferentes flujos de tránsito relacionados principalmente con las operaciones de llegada y salida de uno o varios aeródromos.

La publicación de información aeronáutica del Ecuador reconoce las Áreas de Control Terminal como espacios aéreos controlados y establece diferentes TMA asociadas a los principales aeropuertos del país (Dirección General de Aviación Civil, 2026).

La importancia de la CTA para la investigación radica en que el entrenamiento de aproximación requiere representar las características particulares del tránsito terminal. En este entorno las aeronaves convergen y divergen, se encuentran en diferentes fases de vuelo y deben ser organizadas mediante autorizaciones, instrucciones, secuencias y transferencias.

Por ello, el escenario de simulación no debe limitarse a la representación gráfica de aeronaves. Debe permitir reproducir una situación de tránsito que obligue al alumno a aplicar procedimientos, identificar conflictos, mantener separaciones y gestionar el flujo.

Simulación aeronáutica

La simulación aeronáutica puede definirse como la representación artificial y controlada de un ambiente operacional para fines de entrenamiento, investigación, validación o evaluación.

La Federal Aviation Administration FFA (2026) señala que los sistemas de simulación permiten recrear artificialmente el entorno operacional y son utilizados para “training, design, and safety evaluation”. Esta concepción demuestra que la simulación tiene aplicaciones que superan la enseñanza básica y puede emplearse para evaluar sistemas y procedimientos.

En el campo del tránsito aéreo, EUROCONTROL ha desarrollado plataformas específicas para investigación, validación y entrenamiento. Entre ellas se encuentra ESCAPE, utilizada para simulaciones ATC en tiempo real de entornos de ruta y aproximación, y eDEP,

destinada a prototipado y simulaciones operacionales de pequeña escala (EUROCONTROL, 2026).

La utilización de simuladores para entrenamiento se justifica porque proporciona un ambiente controlado y repetible en el que pueden introducirse condiciones específicas que no necesariamente aparecen con frecuencia en una operación real.

Simulación de control de tránsito aéreo

La simulación ATC permite reproducir el ambiente de trabajo del controlador y proporcionar diferentes configuraciones de tránsito.

La FAA señala que su programa de formación de controladores incorpora diversas etapas que incluyen “academic courses, lab scenarios, simulation, and on-the-job training” (La Federal Aviation Administration FAA, 2026). Este modelo evidencia que la simulación forma parte de una secuencia pedagógica y no constituye una actividad aislada. La capacitación incluye simulaciones de baja y alta fidelidad, y la formación terminal o de ruta se desarrolla después de adquirir conocimientos fundamentales de control de tránsito aéreo.

Este planteamiento es aplicable al proyecto de la ETFA, ya que el simulador debe analizarse como un recurso dentro del proceso de formación y no simplemente como un equipo informático.

Simulación basada en competencias

La Organización de Aviación Civil Internacional ha establecido un enfoque de formación y evaluación basado en competencias para los controladores de tránsito aéreo.

El Manual sobre formación y evaluación basada en competencias para controladores de tránsito aéreo establece como finalidad contar con una “competent workforce” capaz de proporcionar un servicio de control de tránsito aéreo seguro y eficiente (International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)., 2022).

Desde esta perspectiva, la función del simulador consiste en proporcionar situaciones mediante las cuales el alumno pueda desarrollar y demostrar conocimientos, habilidades y comportamientos relacionados con las competencias del controlador.

La OACI establece además que el diseño de los programas debe considerar los "simulation requirements that are necessary" para alcanzar los resultados de entrenamiento previstos (ICAO, 2022). Esto constituye un principio fundamental para la presente investigación, porque permite evaluar si las características actuales de la plataforma de la ETFA son coherentes con las necesidades formativas.

Fidelidad de los simuladores

La fidelidad constituye uno de los principales conceptos relacionados con la evaluación de sistemas de simulación. El National Research Council (1997), advierte que no debe asumirse automáticamente que una mayor fidelidad produce necesariamente una mejor transferencia de aprendizaje, es decir la fidelidad puede analizarse desde componentes tecnológicos, funcionales y psicológicos.

La denominada fidelidad de ingeniería se refiere a la semejanza técnica o física entre el sistema simulado y el ambiente real. "La fidelidad de ingeniería se refiere al grado en que las características físicas del simulador representan los equipos del mundo real" (National research Council, 1997, pág. 73).

Para el simulador de la ETFA esto significa que la evaluación no debe limitarse a la calidad de las pantallas, gráficos o interfaces. También debe determinar si el alumno se enfrenta a tareas cognitivas y operacionales representativas del control de aproximación.

Funcionamiento de una plataforma de simulación

Comprende el conjunto de capacidades que permiten iniciar, configurar, ejecutar y finalizar los ejercicios previstos. Para efectos de esta investigación, el funcionamiento puede conceptualizarse mediante las siguientes dimensiones:

Disponibilidad: corresponde a la capacidad de la plataforma para encontrarse operativa cuando se requiere realizar una sesión de entrenamiento.

Estabilidad: hace referencia con la habilidad del programa para hacer funcionar una práctica sin cortes, errores, trabas o que la información llegue a perderse.

Capacidad de configuración: abarca la destreza de crear nuevas escenas, trazar rutas, representar aeronaves, dar niveles, determinar velocidades, rumbos y elementos que requieran la práctica.

Representación del tránsito: son los que crean la visualización de distintos tipos de aeronaves según las cualidades que se proponen en cada situación.

y visualizar aeronaves conforme a las condiciones y características propuestas en cada escenario.

Comunicaciones: comprende la posibilidad de reproducir y gestionar las comunicaciones entre el alumno, instructor y aeronaves simuladas durante el ejercicio.

Registro de información: corresponde a la función del sistema para almacenar datos relacionados con la ejecución de la práctica, para realizar la evaluación del desempeño del alumno. Estas dimensiones serán especialmente importantes para la construcción de la matriz de operacionalización de variables.

Desempeño del simulador

El desempeño del simulador no debe confundirse con su funcionamiento. Una plataforma puede estar técnicamente operativa y, sin embargo, presentar limitaciones para desarrollar adecuadamente determinadas actividades de entrenamiento.

En esta investigación, el desempeño puede definirse como el grado en que la plataforma responde de manera adecuada a las exigencias del ejercicio de control de aproximación. EUROCONTROL emplea sistemas de simulación para analizar operaciones de gestión de tránsito aéreo y comprobar nuevas configuraciones antes de su aplicación. Un ejemplo es la plataforma eDEP, diseñada como un entorno de simulación en tiempo real que

permite crear prototipos y evaluar conceptos operacionales (EUROCONTROL, 2026). Este tipo de herramienta facilita la valoración de aspectos como: tiempo de respuesta del sistema, precisión con que se presenta el tránsito, comportamiento de los escenarios simulados, ejecución de procedimientos, interacción usuario-sistema, comunicaciones, gestión del tránsito y capacidad para generar datos para evaluación.

Desempeño humano dentro del simulador

Una segunda dimensión del desempeño corresponde al comportamiento del estudiante durante la ejecución de la simulación. La FAA desarrolló un estudio de medición del desempeño de controladores mediante simulación de alta fidelidad. En dicho estudio participaron 107 controladores de ruta y se utilizaron medidas de desempeño para evaluar la actuación durante ejercicios simulados (Manning, 2000).

Este antecedente demuestra que un simulador puede constituirse en un medio para obtener información cuantificable sobre el comportamiento del personal sometido a un escenario determinado. La aplicación del concepto a la ETFA implica que la investigación no deberá concentrarse exclusivamente en determinar si el equipo funciona, sino también en observar qué ocurre cuando estudiantes e instructores emplean el sistema para resolver ejercicios de aproximación.

Carga de trabajo y complejidad

El control de aproximación exige administrar múltiples elementos simultáneamente. Por ello, la carga de trabajo constituye un componente importante para analizar la efectividad de un ejercicio de simulación. Los estudios científicos acerca de los factores humanos han empleado diferentes prácticas de simulación en el cual los controladores de tránsito aéreo deben afrontar la complejidad y carga mental sobre los niveles de vuelo y posición que tengan los distintos tipos de aeronaves. Según (Borghini, 2023) se usaron las plataformas de simulación de control de tránsito aéreo con el fin de que los miembros de la práctica adquieran habilidades para poder verificar información, lograr mantener distancias declaradas y el traspaso de las

aeronaves a los diferentes sectores. Es así que comprueba que la plataforma de simulador es útil para el entrenamiento de los controladores y los instructores puedan evaluar las prácticas en los distintos escenarios.

Por tanto, para la ETFA será pertinente considerar diferentes niveles de complejidad del CTA, de manera que el simulador pueda emplearse tanto para ejercicios básicos como para escenarios que requieran mayor capacidad de gestión.

Conciencia situacional

Se refiere a la habilidad de identificar la información de relevancia en un entorno, interpretarla correctamente y prever cómo podría evolucionar una situación. En el control de aproximación, este aspecto implica el reconocimiento de las aeronaves presentes, entendimiento de la secuencia, detección de conflictos y anticipación de riesgos de pérdidas de separación.

Un simulador que muestre de forma adecuada la dinámica del tráfico puede favorecer al desarrollo de esta habilidad ya que permite a los alumnos practicar en repetidas ocasiones la interpretación del espacio aéreo.

Entrenamiento progresivo

La OACI recomienda que la formación práctica avance desde escenarios con “low traffic numbers and non-complex scenarios” hacia situaciones con mayores niveles de tráfico y complejidad (International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)., 2022). Este principio debe incorporarse en el análisis del simulador de la ETFA. La plataforma debería permitir generar diferentes niveles de entrenamiento, desde ejercicios básicos de identificación y seguimiento hasta escenarios donde sea necesario resolver conflictos, secuenciar aeronaves y mantener la separación bajo condiciones de mayor demanda.

Evaluación del entrenamiento

La evaluación del entrenamiento consiste en determinar en qué medida el alumno alcanza los resultados de aprendizaje previstos. La formación basada en competencias exige que los resultados puedan observarse y evaluarse. En este sentido, la simulación constituye un medio apropiado porque permite reproducir el mismo escenario con diferentes estudiantes y establecer criterios comunes de observación.

La FAA desarrolló en 2025 un modelo de competencias para graduados de su Academia de Control de Tránsito Aéreo. El estudio utilizó análisis de trabajo, revisión de instructores y evaluadores y una encuesta para validar las competencias necesarias al finalizar el entrenamiento académico (Federal Aviation Administration, 2025). Este antecedente es importante para la ETFA porque demuestra la conveniencia de vincular la evaluación del simulador con competencias específicas y verificables.

Proyectos y Experiencias Internacionales Similares

Estados Unidos: Federal Aviation Administration

La FAA cuenta con uno de los sistemas de formación ATC más desarrollados. Su modelo combina formación académica, ejercicios de laboratorio, simulación y entrenamiento en instalaciones operacionales (International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)., 2022). La experiencia estadounidense demuestra que la simulación constituye un componente estructural de la formación de controladores y no simplemente un recurso complementario, además, la FAA ha desarrollado investigaciones específicas para medir el desempeño mediante simulación de alta fidelidad, demostrando la posibilidad de utilizar datos generados durante los ejercicios como instrumentos de evaluación (Manning, 2000). Para la ETFA, esta experiencia sustenta la incorporación de indicadores objetivos de funcionamiento y desempeño.

Francia: École Nationale de l'Aviation Civile

La École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC) dispone de una infraestructura específicamente dedicada a la simulación ATC. Su centro cuenta con simuladores de torre, aproximación y ruta, además de numerosas posiciones de entrenamiento y sistemas de comunicaciones (École Nationale de l'Aviation Civile, 2026). La ENAC reporta diez posiciones operativas de simulación de aproximación y veinte posiciones de simulación de ruta. Asimismo, señala que usa formación asistida por computador para preparar a los alumnos antes de la instrucción basada en simulador. Este modelo constituye un antecedente importante porque integra diferentes niveles de formación y separa las necesidades de simulación según el tipo de servicio de control.

Europa: EUROCONTROL

Posee una amplia experiencia en desarrollo y utilización de plataformas de simulación ATC. Su sistema ESCAPE permite realizar simulaciones en tiempo real de control de área y aproximación (EUROCONTROL, 2026). Además, desarrolló eDEP como una plataforma ligera para prototipado rápido, investigación y simulaciones operacionales de pequeña escala.

La experiencia demuestra que una plataforma de simulación puede ser utilizada no solo para entrenar, sino también para validar procedimientos, estudiar modificaciones del espacio aéreo y analizar nuevas configuraciones operacionales.

Alemania: DLR

El Centro Aeroespacial Alemán (DLR) dispone de la plataforma ATMOS, un simulador de gestión y operaciones del tránsito aéreo utilizado como entorno de validación para nuevos procedimientos de control. DLR describe ATMOS como un entorno de validación central para procedimientos futuros de control de tránsito aéreo y como un sistema para realizar simulaciones en tiempo real de diferentes situaciones de tránsito (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Centro Aeroespacial Alemán - DLR), 2026), este antecedente es importante

porque demuestra la utilidad de los simuladores para evaluar cambios antes de implementarlos operacionalmente.

Estonia: Estonian Aviation Academy

La Estonian Aviation Academy desarrolló un proyecto específico para la configuración y programación de procedimientos de control de tránsito aéreo en su simulador ATC. El objetivo fue configurar el espacio aéreo correspondiente y sus procedimientos para proporcionar servicios de entrenamiento (Estonian Aviation Academy (Eesti Lennuakadeemia), 2014). Este proyecto posee una similitud particularmente alta con la investigación propuesta para la ETFA, debido a que se concentra en la configuración del espacio aéreo y procedimientos dentro de una plataforma existente para fortalecer su utilización educativa.

Vietnam: Desarrollo de un simulador ATC aplicado a educación

En Vietnam, investigadores desarrollaron un sistema de simulación ATC orientado específicamente a la educación y entrenamiento. El proyecto se originó por el alto costo de adquirir simuladores en el exterior y la necesidad de contar con una alternativa ajustada al contexto de la región. La propuesto desarrollada incluyó una representación tridimensional encaminada al entrenamiento de control de aeródromo (Nguyen, 2021). Este antecedente evidencia que las instituciones son capaces de desarrollar herramientas de simulación según sus requerimientos y limitaciones de carácter económico.

Portugal: Simulador ATC militar integrado con plataforma educativa

Uno de los antecedentes más próximos al contexto institucional de la ETFA corresponde a Portugal. (Ribeiro, 2011) desarrollaron un proyecto conjunto entre la Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro y la Fuerza Aérea Portuguesa para integrar los datos generados por un simulador militar de control de tránsito aéreo con un sistema de gestión del aprendizaje. La propuesta buscaba que los escenarios y los resultados obtenidos por los estudiantes durante la simulación fueran incorporados al entorno de aprendizaje.

Este antecedente es especialmente significativo para la presente investigación debido a su naturaleza militar, aeronáutica y educativa, lo que permite establecer un paralelismo metodológico con la ETFA.

China: Evaluación cuantitativa del entrenamiento ATC

En China se ha desarrollado investigaciones orientadas a superar la dependencia exclusiva de la evaluación subjetiva del instructor. Una investigación de la Nanjing University of Aeronautics and Astronautics y de la administración de gestión del tránsito aéreo de Xinjiang propuso un sistema inteligente de evaluación de competencias basado en múltiples indicadores (Li, 2025), los autores plantean una evaluación que integra competencias centrales, competencias relacionadas con el puesto y aspectos psicológicos, otro estudio realizado mediante simulación ATC en China utilizó una plataforma compuesta por un simulador de cabina A320, cuatro posiciones radar y dos posiciones de torre/rampa. El sistema registró trayectorias, operaciones del controlador, comunicaciones aire-tierra y datos de las interfaces de los simuladores, utilizando criterios relacionados con flujo de tránsito, desempeño operacional, procedimientos, costos y carga de trabajo (Liang, 2022), este antecedente resulta particularmente importante para el proyecto de la ETFA porque demuestra la posibilidad de utilizar los datos generados por el simulador como evidencia objetiva para evaluar desempeño**.**

Experiencias Internacionales como Referencia para la ETFA

La revisión de los proyectos internacionales permite identificar elementos comunes que pueden ser adaptados al contexto de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea.

Tabla 1

Experiencias Internacionales en Simulación ATC.

País / institución	Aplicación	Elemento de interés para la ETFA
Estados Unidos – FAA	Formación y evaluación ATC mediante simulación	Indicadores objetivos de desempeño.
Francia – ENAC	Simuladores especializados para control de aproximación y ruta	Diferenciación de escenarios según servicio ATC que se entrena.
Europa – EUROCONTROL	Plataformas ESCAPE y eDEP	Validación de operaciones, capacitación y desarrollo de escenarios simulados.
Alemania – DLR	Sistemas ATMOS	Simulación orientada a la validación de tránsito aéreo.
Estonia – Aviation Academy	Configuración del espacio aéreo y procedimientos	Diseño de áreas y control terminal y ejercicios en el simulador.
Portugal – Fuerza Aérea	Integración entre simulador-LMS	Aplicación en entorno militar y educativo comparable.
Vietnam	Desarrollo de simulador ATC educativo	Adaptación tecnológica a necesidades institucionales.
China	Evaluación inteligente ATC	Indicadores cuantitativos y análisis de datos de simulación.

Nota. Adaptado de Experiencias en simulación aeronáutica, por DLR en el año 2026.

Modelo Conceptual para la Evaluación del Simulador de la ETFA

A partir de la revisión teórica y de las experiencias internacionales, la evaluación propuesta para la ETFA puede estructurarse en tres dimensiones principales:

Dimensión 1: Funcionamiento de la plataforma

Busca determinar si la plataforma dispone de condiciones técnicas adecuadas para ejecutar los ejercicios: indicadores potenciales, disponibilidad, mantenerse estable, desempeño de hardware, software, comportamiento para crear situaciones, proyección de aeronaves, la comunicación constante, y la observación de los datos necesarios.

Dimensión 2: Desempeño durante la simulación

Procura resolver como actúan los simuladores y su desarrollo durante la práctica: índices de alerta, tiempo de demora del sistema, precisión de lo que se representa, regularidad de la práctica, todo lo realizado por las aeronaves y el cumplimiento de las instrucciones, orden del tránsito conociendo las estancias declaradas, todas las coordinaciones que tiene que hacer el coordinador y el nivel de dificultad de la práctica.

Dimensión 3: Contribución a la formación

Se encamina en cómo la plataforma aporta al aprendizaje de los controladores con: fraseología, resolución de contingencias, capacidad de abordar el estrés, presión, aplicación de la parte teórica, toma de decisiones rápidas y la retroalimentación que tengan los alumnos e instructores en cada ejercicio, dependiendo su dificultad.

Relación Entre el Marco Teórico y el Proyecto

La revisión realizada permite establecer que el simulador de la ETFA debe ser estudiado como un sistema compuesto por tres elementos relacionados: tecnología, operación y formación. La tecnología corresponde a la plataforma, hardware, software, comunicaciones e interfaces. La operación corresponde a la representación del servicio de aproximación, la gestión del tránsito y la ejecución de procedimientos. La capacitación del aprendizaje en las plataformas sirve para crear y evaluar las aptitudes de los alumnos. la correlación puede interpretarse del siguiente modo:

Plataforma de simulación →Sector CTA →Control de aproximación → Desempeño del estudiante → Evaluación de competencias → Retroalimentación → Mejora de las prácticas.

Este modelo permite orientar la investigación hacia una evaluación integral y evita limitarla a una inspección técnica del simulador.

Fundamentación del Proyecto

La revisión de la documentación internacional demuestra que los simuladores ATC son utilizados actualmente para formación, evaluación, investigación y validación operacional. La OACI establece un enfoque basado en competencias; la FAA utiliza simulación como componente de la formación de controladores; EUROCONTROL utiliza plataformas para entrenamiento y validación; instituciones como ENAC disponen de simuladores diferenciados para aproximación y ruta; Estonia ha desarrollado procedimientos específicamente destinados a ser ejecutados en simulador; Portugal ha relacionado la simulación militar con plataformas educativas; y China ha avanzado hacia modelos cuantitativos de evaluación de competencias.

En Ecuador, la normativa establece las responsabilidades correspondientes al servicio de control de aproximación y la información aeronáutica reconoce las operaciones de aproximación por procedimientos y por vigilancia (DGAC, 2019).

En consecuencia, existe fundamento técnico y académico suficiente para evaluar el simulador de Tránsito Aéreo de la ETFA específicamente desde la perspectiva del **s**ervicio de control de aproximación en un Área de Control Terminal.

El aporte de la investigación consistirá en adaptar estos principios al contexto institucional de la ETFA y establecer, mediante indicadores verificables, el estado de funcionamiento de la plataforma, su desempeño durante los ejercicios y su contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico.

Capítulo III

Metodología

Enfoque de Investigación

La presente investigación tendrá un enfoque mixto, con predominio cuantitativo**,** debido a que se recopilarán datos objetivos sobre el funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación y, simultáneamente, información relacionada con la percepción de alumnos e instructores respecto de su utilidad para el entrenamiento aeronáutico.

El componente cuantitativo permitirá obtener resultados mediante pruebas funcionales, listas de verificación, indicadores de desempeño, registros de las sesiones de simulación y rúbricas de evaluación. El componente cualitativo permitirá conocer la experiencia de los usuarios respecto de aspectos como facilidad de utilización, realismo del escenario, utilidad pedagógica, capacidad de entrenamiento y pertinencia de los ejercicios.

Tipo de Investigación

El estudio será de tipo aplicado, descriptivo y evaluativo**,** desarrollado bajo la modalidad de estudio de caso institucional**.**

Será aplicado porque busca atender una necesidad concreta relacionada con el empleo del simulador de Tránsito Aéreo de la ETFA. Será descriptivo porque permitirá caracterizar las condiciones actuales de funcionamiento de la plataforma y sus componentes. Será evaluativo porque permitirá determinar el nivel de desempeño de la plataforma y su contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico.

Se empleará un estudio de caso debido a que la investigación estará concentrada en la plataforma de simulación de Tránsito Aéreo utilizada por la ETFA para el entrenamiento del servicio de control de aproximación.

Diseño de Investigación

El diseño será no experimental y transversal. No experimental porque no se manipularán deliberadamente las variables de investigación. La plataforma será evaluada en condiciones controladas de entrenamiento, observando su funcionamiento y desempeño.

Será transversal porque la información será recopilada durante el período establecido para la investigación correspondiente al año 2026, el procedimiento general será:

Diagnóstico → configuración del entorno de simulación → diseño de escenarios → ejecución de pruebas → recopilación de datos → evaluación del desempeño → análisis de resultados → propuesta de mejora.

Entorno Tecnológico de Simulación

El entorno de simulación estará conformado por las herramientas tecnológicas utilizadas para representar y gestionar el tránsito aéreo simulado:

EuroScope: como herramienta principal para la representación y gestión de la posición de control ATC y para la interacción del controlador con el tráfico simulado.

VATSIM**:** como entorno de simulación de tránsito aéreo y conectividad de la actividad ATC, pudiendo utilizarse sus mecanismos de tráfico simulado y entrenamiento.

IVAO: como entorno complementario para la ejecución de ejercicios y comparación de capacidades relacionadas con la simulación y entrenamiento ATC.

La documentación de VATSIM Ecuador establece el uso de EuroScope como herramienta de control y contempla sesiones prácticas con tráfico simulado, asimismo, documentación de formación de VATSIM España incluye EuroScope dentro de las sesiones prácticas de formación ATC y contempla contenidos relacionados con servicios ATS, separación, coordinación, fraseología y procedimientos.

En el caso de IVAO, su sistema de entrenamiento contempla software ATC, configuración de archivos de sector, conexión a la red, entrenamiento práctico y evaluación.

Por consiguiente, estas herramientas serán consideradas como parte del entorno tecnológico de simulación y no como variables independientes entre sí.

Unidad de Análisis

La unidad principal de análisis será el entorno de simulación de control de aproximación implementado en el simulador de Tránsito Aéreo de la ETFA, considerando la integración de los recursos tecnológicos empleados para representar el CTA, la unidad de análisis comprenderá: plataforma informática utilizada para el entrenamiento, configuración de EuroScope, archivos de sector, representación del CTA, conexión y utilización de VATSIM, utilización de IVAO, tráfico simulado, comunicaciones, escenarios de aproximación, registros generados durante los ejercicios, alumnos e instructores.

Variables de Investigación

La investigación estará estructurada alrededor de dos variables principales.

Variable independiente

Funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación.

Variable dependiente

Contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico, la relación propuesta será:

Funcionamiento de la plataforma → desempeño durante la simulación → ejecución del entrenamiento → desarrollo de competencias.

Dimensiones de la Variable Independiente

Funcionamiento técnico

Esta dimensión permitirá determinar si el entorno de simulación se encuentra en condiciones adecuadas para ejecutar ejercicios de aproximación, se considerarán indicadores como: disponibilidad, estabilidad, funcionamiento del hardware, funcionamiento del software, configuración de EuroScope, archivos de sector, conexión a la red, comunicaciones,

visualización, generación de tráfico, continuidad de la sesión y presencia de errores o interrupciones.

Capacidad Operacional del Entorno Simulado

Permitirá establecer si la configuración permite representar adecuadamente el servicio de aproximación dentro del CTA, se considerarán: representación del espacio aéreo, sectores, puntos de navegación, aeródromos, rutas, procedimientos, llegadas, salidas, transferencia de tránsito, secuenciación, coordinación, separación y gestión de tráfico.

Desempeño del Sistema

Se analizará el comportamiento del entorno de simulación durante la ejecución de los ejercicios, los indicadores podrán incluir: tiempo de respuesta, estabilidad durante la sesión, precisión de representación, comportamiento del tráfico, respuesta ante instrucciones, sincronización, continuidad, ocurrencia de errores y capacidad de recuperación.

Dimensiones de la Variable Dependiente

Desarrollo de competencias

Se valorará la contribución del entrenamiento al desarrollo de capacidades relacionadas con: aplicación de procedimientos, separación, coordinación, comunicaciones, fraseología, toma de decisiones, conciencia situacional, identificación de conflictos, secuenciación y gestión del tránsito.

Efectividad del entrenamiento

Se determinará si los ejercicios permiten alcanzar los objetivos establecidos, se considerarán: cumplimiento de objetivos, nivel de desempeño, progresión de dificultad, repetición de ejercicios, retroalimentación, corrección de errores y aprendizaje obtenido.

Percepción de estudiantes e instructores

Se analizará la valoración de los usuarios respecto de: facilidad de uso, realismo, utilidad, estabilidad, interacción, pertinencia de los escenarios, contribución al aprendizaje y confianza para ejecutar procedimientos.

Configuración del CTA para la Investigación

Antes de ejecutar las pruebas será necesario establecer una configuración estandarizada del Área de Control Terminal que será utilizada como escenario base, esta configuración deberá contener, como mínimo: límites laterales y verticales, aeródromos involucrados, radioayudas y puntos de navegación, rutas de llegada y salida, procedimientos instrumentales, frecuencias, posiciones de control, sectores, niveles, tránsito de entrada y salida.

La configuración deberá mantenerse constante durante la primera fase de evaluación para que los resultados puedan compararse entre diferentes sesiones.

Escenarios de Simulación

Los escenarios serán diseñados específicamente para evaluar la capacidad de la plataforma en la prestación simulada del servicio de aproximación, se establecerán tres niveles de complejidad.

Escenario 1: Nivel básico

Se trabajará con una cantidad reducida de aeronaves y condiciones operacionales normales. Su propósito es calificar cómo el alumno identifica el performance de las aeronaves, correcto manejo de la fraseología, conciencia situacional sobre las aeronaves, dar autorizaciones y cómo debe seguir cada procedimiento.

Escenario 2: Nivel intermedio

Conforme avancen sus conocimientos, aumentará poco a poco el volumen de tránsito y se agregarán más operaciones de llegada y salida de aeronaves. Se valorará el conocimiento al dar secuencia, coordinaciones con las diferentes dependencias, rapidez, orden y seguridad del tráfico aéreo.

Escenario 3: Nivel avanzado

En este nivel el controlador experimentará situaciones de contingencia, emergencias, que lleven consigo las aeronaves, diferentes pedidos de los pilotos y situaciones de tránsito que necesiten respuestas inmediatas.

El propósito es analizar la capacidad de respuesta del sistema y el desempeño del estudiante bajo una carga de trabajo más elevada.

La aplicación progresiva de estos escenarios se alinea con la formación basada en competencias propuesta por la OACI, la cual establece que las actividades de simulación deben responder a los resultados de aprendizaje previstos.

Aplicación de EuroScope

EuroScope será utilizado como componente principal de la interfaz del controlador durante las sesiones, la evaluación considerará: instalación, configuración, carga del sector, visualización, identificación de aeronaves, etiquetas, presentación del tráfico, herramientas de control, coordinación, comunicaciones, ejecución de instrucciones, estabilidad durante la sesión.

La experiencia internacional de VATSIM demuestra que EuroScope se utiliza como parte de la formación práctica y que su configuración incluye archivos de sector, herramientas de control y procedimientos específicos.

Aplicación de VATSIM

VATSIM será utilizado como entorno de simulación para generar y gestionar tráfico virtual durante las pruebas que correspondan, se evaluará: conexión, disponibilidad del entorno, estabilidad, incorporación de tráfico, interacción entre controlador y aeronaves, comunicaciones, comportamiento del tráfico.

Utilización de sesiones de entrenamiento.

Capacidad para generar situaciones controladas.

En VATSIM Ecuador se establece expresamente la utilización de sesiones de tráfico simulado para la formación práctica ATC.

Aplicación de IVAO

IVAO se empleará como entorno complementario de simulación y contraste, se analizarán aspectos relacionados con: configuración del espacio aéreo, representación de aeronaves, interacción controlador-piloto, comunicaciones, procedimientos, funcionamiento del software, posibilidades de entrenamiento, estabilidad de las sesiones.

IVAO dispone de un sistema formal de formación que contempla entrenamiento práctico y exámenes simulados, lo que constituye un referente para estructurar actividades de entrenamiento ATC.

Técnicas de Recopilación de Datos

Se utilizarán las siguientes técnicas:

Observación técnica: para verificar el funcionamiento de la plataforma.

Pruebas funcionales: para comprobar las capacidades del entorno de simulación.

Observación del desempeño: se utilizará para registrar la actuación del estudiante durante el desarrollo de los ejercicios.

Encuesta: ayudará a obtener la opinión de los alumnos e instructores acerca del rendimiento del simulador en las prácticas.

Análisis documental: empleado para analizar los diferentes manuales, cartas de procedimientos, restricciones del sector y normativa aeronáutica.

Registro digital: en el momento en que se habilite, se recolectará todos los datos que nos brinde las plataformas como EuroScope, VATSIM, IVAO y demás programas vinculados en el simulador.

Instrumentos de Investigación

Se desarrollarán los siguientes instrumentos:

Instrumento 1. Lista de verificación técnica

Permitirá evaluar:

- Hardware.
- Software.
- Conectividad.
- EuroScope.
- VATSIM.
- IVAO.
- Comunicaciones.
- Visualización.
- Archivos de sector.
- Estabilidad.

Instrumento 2. Ficha de prueba funcional

Permitirá registrar:

- Escenario.
- Configuración.
- Número de aeronaves.
- Condiciones iniciales.
- Acciones ejecutadas.
- Respuesta del sistema.
- Errores.
- Tiempo de ejecución.
- Resultado.

Instrumento 3. Rúbrica de desempeño ATC

Permitirá evaluar al alumno en:

- Identificación.

- Separación.
- Secuenciación.
- Coordinación.
- Comunicaciones.
- Fraseología.
- Procedimientos.
- Toma de decisiones.
- Gestión del tránsito.

Instrumento 4. Cuestionario

Será aplicado a alumnos e instructores para valorar:

- Facilidad.
- Realismo.
- Utilidad.
- Estabilidad.
- Interacción.
- Calidad de escenarios.
- Contribución al aprendizaje.

Instrumento 5. Registro de incidencias

Permitirá documentar:

- Fallas.
- Bloqueos.
- Pérdida de conexión.
- Errores.
- Interrupciones.
- Problemas de configuración.
- Problemas de comunicación.

Procedimiento de Evaluación

El procedimiento se desarrollará en seis fases.

Fase I. Diagnóstico inicial

Se realizará un inventario de los equipos, software y componentes utilizados para implementar el entorno de simulación.

Fase II. Configuración

Se establecerán EuroScope, archivos de sector, comunicaciones, conexión de red y escenarios correspondientes al CTA definido para la investigación.

Fase III. Prueba técnica

Se ejecutarán pruebas sin participación evaluativa de estudiantes para determinar el funcionamiento básico de la plataforma.

Fase IV. Ejercicios de simulación

Se ejecutarán los escenarios básico, intermedio y avanzado, utilizando las configuraciones previamente establecidas.

Fase V. Evaluación del entrenamiento

Los estudiantes desarrollarán las actividades y serán evaluados mediante la rúbrica de desempeño.

Fase VI. Análisis

Se integrarán los resultados técnicos, operacionales y académicos para determinar el nivel de funcionamiento, desempeño y contribución formativa.

Triangulación de Resultados

Para aumentar la confiabilidad de los resultados se realizará triangulación entre:

Datos técnicos + datos de simulación + evaluación del instructor + percepción del estudiante.

Esta comparación permitirá identificar coincidencias y diferencias entre el comportamiento objetivo de la plataforma y la percepción de los usuarios, por ejemplo, una

elevada valoración de los estudiantes sobre la estabilidad del sistema deberá contrastarse con el número real de interrupciones registradas durante las sesiones.

Escala de Valoración

Tabla 2

Escala Porcentual para Establecer el Nivel de Cumplimiento

Porcentaje	Nivel	Interpretación
90–100 %	Muy alto	Cumple adecuadamente
80–89 %	Alto	Cumple con observaciones menores
70–79 %	Medio	Requiere mejoras
50–69 %	Bajo	Presenta limitaciones importantes
<50 %	Crítico	Requiere intervención prioritaria

Nota. Escala porcentual para la valoración de los indicadores de funcionamiento del simulador.

Los puntos de corte deberán ser validados por expertos antes de la aplicación definitiva.

Comparación de los Entornos de Simulación

El empleo de EuroScope, VATSIM e IVAO permitirá desarrollar una evaluación comparativa en aquellos componentes donde resulte técnicamente procedente, la comparación considerará:

Tabla 3

Comparación Técnica de los Entornos de Simulación ATC.

Criterio	EuroScope	VATSIM	IVAO
Gestión ATC	✓	✓	✓

Criterio	EuroScope	VATSIM	IVAO
Representación del espacio aéreo		✓	✓ ✓
Tráfico simulado		✓	✓ ✓
Comunicaciones	Complementario		✓ ✓
Configuración de sectores		✓ Dependiente del entorno	✓
Formación		✓	✓ ✓
Registro de desempeño	según configuración	según herramientas utilizadas	según herramientas utilizadas
Utilización institucional	A determinar	A determinar	A determinar

Nota. Evaluación comparativa de características operacionales.

Depende de la configuración y de las herramientas complementarias empleadas.

La finalidad de esta comparación no será determinar qué plataforma es “mejor” en términos generales, sino identificar qué capacidades pueden ser aprovechadas para fortalecer el entrenamiento de aproximación de la ETFA**.**

Validez y Confiabilidad

Los instrumentos serán sometidos a juicio de expertos con experiencia en:

Control de tránsito aéreo.

Control de aproximación.

Simulación aeronáutica.

Formación aeronáutica.

Informática o sistemas de simulación.

La confiabilidad de los instrumentos de encuesta podrá determinarse mediante alfa de Cronbach cuando el número de participantes permita su aplicación. Las pruebas funcionales se repetirán bajo condiciones equivalentes para verificar la consistencia de los resultados.

Control de Sesgos y Originalidad de la Investigación

La metodología y los instrumentos serán elaborados específicamente para las condiciones del simulador de la ETFA. Los instructivos, archivos y prácticas de carácter internacional, se emplearán solamente para tener una referencia y no transcribirlas de forma exacta. En el momento que se necesite tener un concepto especializado se utilizará las citas textuales breves, es decir, las que contienen menos de 40 palabras, con el citado correcto, empleando normas APA 7ma edición.

Los parámetros, esquemas, alternativas, guías de evaluación, creados para ciertas investigaciones tienen que estar con sus propias definiciones. Su creación tendrá enfoque en la reglamentación aeronáutica, sus perspectivas del aprendizaje deberán tener expedientes técnicos revisados.

No se crearán herramientas, esquemas ni metodologías de otras clases de estudios. Al guiarse en instrumentos de carácter internacional, se reconocerá su procedencia y se detallará como se adaptó al entorno de la institución.

Resultado Esperado de la Metodología

La metodología permitirá realizar una evaluación integral del entorno de simulación empleado en la ETFA. Para ello, se considerarán la interacción entre:

EuroScope, VATSIM, IVAO, configuración CTA, los escenarios de aproximación y el desempeño del alumno durante las prácticas.

Con ello será posible determinar:

1. Si el entorno tecnológico funciona adecuadamente.

2. Si permite representar condiciones necesarias del servicio de aproximación dentro del CTA.

3. Si responde adecuadamente durante la ejecución de los escenarios.

4. Qué desempeño presentan los estudiantes durante los ejercicios.

5. En qué medida el entorno de simulación contribuye al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico.

Finalmente, los resultados permitirán establecer una línea base del estado de la plataforma y formular recomendaciones orientadas a su optimización, actualización y aprovechamiento académico dentro de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea.

Capítulo IV

Análisis y Discusión de los Resultados

Consideraciones Preliminares

El presente capítulo tiene como finalidad analizar los resultados obtenidos mediante la aplicación de los instrumentos de investigación diseñados para evaluar el funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación de control de aproximación y determinar su contribución al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico de los estudiantes de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea durante el año 2026.

Para la obtención de la información se consideraron las técnicas establecidas en el Capítulo III de la investigación, entre ellas la encuesta dirigida a los alumnos, la entrevista aplicada a los instructores y la observación directa de las prácticas desarrolladas en la plataforma de simulación. Estas técnicas permitieron recopilar información relacionada con la estabilidad del sistema, facilidad de utilización, fidelidad de los escenarios, comunicaciones aeronáuticas, respuesta de la plataforma y contribución al desarrollo de competencias operacionales.

El análisis de los resultados permite reconocer las fortalezas y aspectos que necesitan mejora, además facilita determinar su aporte al proceso de formación de los alumnos de tránsito aéreo.

Análisis de los Resultados Obtenidos de la Encuesta Aplicada a los Alumnos

La encuesta fue realizada a los alumnos de la especialidad de Tránsito Aéreo de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea que recibieron capacitación en la plataforma de simulación de aproximación.

El formulario fue detallado por medio de un esquema tipo Likert que contiene cinco niveles: totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo. Las conclusiones facilitaron el entendimiento de los alumnos acerca

de cómo funciona y el uso que deberían dar a las plataformas de simulación mientras se encuentren en el aprendizaje de los controladores ATC.

Funcionamiento técnico de la plataforma

En la evaluación de cómo funciona la plataforma de simulación, se pudieron observar diferentes destrezas del programa: estabilidad de la red, rapidez de respuesta, que no existan interrupciones durante las prácticas, mientras se ejecutan los distintos ejercicios.

Los resultados obtenidos permitieron determinar el nivel de confiabilidad del sistema durante las sesiones de entrenamiento. La estabilidad técnica constituye un aspecto fundamental dentro de la simulación aeronáutica, debido a que las interrupciones, retardos o fallas durante un ejercicio pueden afectar la continuidad del aprendizaje y limitar la concentración del estudiante.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, se evidenció que la plataforma permite desarrollar las prácticas de control de aproximación y ejecutar los ejercicios establecidos para el proceso de formación. No obstante, durante las sesiones se identificaron algunas características técnicas que deben mejorarse, iniciando por la actualización del sistema y en el ajuste de los escenarios según el requerimiento de la práctica.

En general, el sistema funciona como un recurso útil para los alumnos, ya que permite practicar situaciones con similitud a las operacionales reales en un sector controlado.

Realismo y fidelidad de los escenarios de simulación

Uno de los aspectos evaluados fue la percepción de los alumnos respecto al nivel de realismo de los escenarios desarrollados en la plataforma. La fidelidad de una simulación constituye un elemento importante, debido a que permite aproximar a situaciones similares a las que se puede enfrentar durante el desarrollo de sus funciones profesionales.

Los resultados permitieron establecer que la plataforma facilita la representación de diferentes situaciones relacionadas con el control de aproximación, tales como el ingreso y

salida de aeronaves, secuenciación del tránsito, asignación de altitudes, vectores radar y coordinación entre dependencias.

La posibilidad de modificar las condiciones de cada ejercicio permite desarrollar prácticas de diferente nivel de complejidad, contribuyendo al fortalecimiento progresivo de las competencias operacionales de los estudiantes. De esta manera, los usuarios pueden enfrentarse a situaciones que requieren la aplicación de conocimientos teóricos y la toma de decisiones en tiempo real.

No obstante, para garantizar un mayor aprovechamiento de la plataforma, es importante mantener actualizados los escenarios y procedimientos empleados durante las prácticas, procurando que estos se encuentren relacionados con las condiciones operacionales y procedimientos que los alumnos deberán aplicar en su futuro desempeño profesional.

Contribución al desarrollo de competencias operacionales

Los resultados de la investigación permitieron analizar la contribución de la plataforma de simulación al desarrollo de las competencias requeridas en la formación de los futuros controladores de tránsito aéreo. La utilización de la plataforma permite a los alumnos practicar procedimientos de control de aproximación en un entorno seguro y controlado, donde es posible cometer errores, analizarlos y corregirlos sin generar riesgos para las operaciones reales. Este aspecto favorece un proceso de aprendizaje basado en la práctica, la repetición y la retroalimentación.

Entre las competencias que pueden fortalecerse mediante el entrenamiento en simulación se encuentran la toma de decisiones, la conciencia situacional, la comunicación aeronáutica, la resolución de conflictos, la gestión del tránsito y la aplicación de procedimientos de control.

Los resultados obtenidos evidencian que la utilización sistemática de escenarios de simulación puede complementar la formación teórica de los alumnos, permitiéndoles relacionar los conocimientos adquiridos en el aula con situaciones operacionales prácticas. Por lo tanto, la

plataforma constituye una herramienta que puede contribuir significativamente al proceso de formación y entrenamiento aeronáutico.

Análisis de la Información Obtenida Mediante la Entrevista a los Instructores

La entrevista aplicada a los instructores tuvo como propósito obtener información relacionada con la utilidad de la plataforma, su funcionamiento durante las prácticas, las principales fortalezas identificadas y los aspectos que requieren mejoramiento Desde su perspectiva, la utilización de la plataforma permite desarrollar ejercicios estructurados y controlar diferentes variables que influyen en la complejidad del tránsito aéreo.

Entre los beneficios de la plataforma, podemos identificar la realización de prácticas repetitivas y aumentar la dificultad de manera progresiva, esto dependerá del nivel de preparación de cada alumno. Por otro lado, los instructores pueden modificar los ejercicios y evaluar el desempeño de cada alumno durante la práctica.

Los instructores también hacen énfasis en que la simulación mediante la práctica complementa la teoría. Al realizar las prácticas directamente con distintos escenarios, los alumnos se familiarizan con los procesos que deben seguir durante el control y aprenden de mejor manera las funciones de un controlador de aproximación.

Como aspecto para desarrollar las fortalezas de los alumnos es necesario que la plataforma se actualice de forma continua. Agregar nuevos escenarios, procedimientos y diferentes contingencias que pueda presentar las aeronaves para ampliar el conocimiento de los alumnos.

Resultados de la Observación Directa

Mediante la observación directa de las sesiones de entrenamiento se analizaron aspectos relacionados con la interacción de los alumnos con la plataforma, el desarrollo de los ejercicios y el comportamiento general del sistema. Durante las prácticas se pudo observar que los alumnos tienen la posibilidad de aplicar procedimientos de control en un ambiente que permite la interacción entre diferentes elementos operacionales. El uso de los escenarios

simulados ayuda a la participación activa de los alumnos, incluso les permite enfrentar situaciones de máxima concentración, constante coordinación y habilidad para tomar decisiones rápidas.

La observación de las prácticas dio a conocer la dificultad de los ejercicios de control que deben aumentar de forma progresiva. Al inicio las escenas deben ayudar al alumno a familiarizarse con la plataforma y los procesos básicos del control de aproximación.

Adicional, se pueden incluir más aeronaves de distintas categorías y diferentes tipos de contingencia, también se evidenció que la retroalimentación de los instructores al finalizar cada práctica es indispensable para que los alumnos de tránsito aéreo no cometan los mismos errores que en las practicas anteriores.

Discusión de los Resultados

Los resultados obtenidos permiten establecer que la plataforma de simulación de control de aproximación representa una herramienta importante dentro del proceso de formación y entrenamiento aeronáutico de los estudiantes de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea.

La investigación demuestra que el empleo de escenarios simulados permite complementar la formación teórica mediante experiencias prácticas relacionadas con las funciones de un controlador de aproximación. La posibilidad de practicar procedimientos, tomar decisiones y gestionar diferentes situaciones operacionales en un ambiente controlado favorece el desarrollo de competencias necesarias para el futuro desempeño profesional.

Los resultados también permiten destacar que la efectividad de la plataforma no depende únicamente de sus características tecnológicas. El proceso de entrenamiento requiere una adecuada planificación de los ejercicios, supervisión permanente por parte de los instructores y retroalimentación posterior a cada práctica.

En este sentido, la plataforma debe ser considerada como una herramienta integrada dentro del proceso educativo y no únicamente como un recurso tecnológico independiente. Su mayor contribución se produce cuando los escenarios de simulación están relacionados con los

objetivos de aprendizaje y permiten evaluar progresivamente las competencias de los estudiantes.

De igual manera, se identificó la necesidad de realizar evaluaciones periódicas del funcionamiento y desempeño de la plataforma. La revisión continua permitirá identificar posibles limitaciones técnicas y pedagógicas, garantizando que la herramienta mantenga condiciones adecuadas para el desarrollo de las prácticas.

En consecuencia, los resultados permiten responder a la pregunta de investigación, estableciendo que el funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación influye de manera significativa en el proceso de formación y entrenamiento aeronáutico, debido a que facilita la práctica de procedimientos operacionales, el fortalecimiento de competencias y la preparación progresiva de los estudiantes frente a situaciones relacionadas con el control de aproximación.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La plataforma de simulación de control de aproximación constituye una herramienta de apoyo para el proceso de formación de los alumnos de la especialidad de Control de Tránsito Aéreo, debido a que permite desarrollar prácticas en un ambiente controlado y orientado a la aplicación de conocimientos y procedimientos aeronáuticos. El desarrollo de escenarios simulados permite fortalecer diferentes competencias operacionales de los alumnos, entre las que se encuentran la toma de decisiones, la comunicación aeronáutica, la conciencia situacional, la resolución de conflictos y la gestión del tránsito aéreo. La práctica repetitiva permite que los alumnos identifiquen y corrijan errores sin afectar la seguridad de las operaciones reales.

El desempeño de la plataforma se encuentra relacionado no solamente con su funcionamiento técnico, sino también con la planificación y diseño de los ejercicios desarrollados durante el entrenamiento. Una adecuada estructuración de los escenarios permite incrementar progresivamente el nivel de complejidad y adaptar las prácticas a las necesidades de formación de los estudiantes. La activa participación de los instructores y las retroalimentaciones que realizan después de cada práctica que tienen los alumnos son esenciales para aprovechar al máximo el aprendizaje de los mismos. Su compañía, antes, durante y después de cada práctica ayuda a detectar los errores que puedan tener los futuros controladores, donde reforzaran los conocimientos y mejorarán conforme pasen las prácticas más difíciles que puedan afrontar posteriormente.

Por ende, es de suma importancia evaluar constantemente el desempeño de la plataforma para reconocer sus fortalezas y debilidades en el ámbito pedagógico. Estas evaluaciones permitirán saber todo lo necesario para la mejora de la plataforma para el entrenamiento de los alumnos de tránsito aéreo.

Finalmente, la plataforma de la simulación de control de aproximación nos brinda aportes para la formación de los alumnos de la ETFA, ya que nos brinda un espacio de intensiva práctica en un ambiente seguro y controlado.

Su utilización permite complementar la formación teórica y facilitar el desarrollo progresivo de competencias necesarias para el desempeño de funciones relacionadas con el control de tránsito aéreo.

Recomendaciones

Con base en las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de la investigación, se plantean las siguientes recomendaciones: Implementar un programa permanente de evaluación del funcionamiento y desempeño de la plataforma de simulación, con el propósito de verificar periódicamente su estabilidad, capacidad de respuesta y funcionamiento durante las sesiones de entrenamiento.

Diseñar y actualizar progresivamente las escenas de dificultad, agregando distintos tipos de contingencias que puedan presentar las aeronaves al momento de operar, conforme el nivel de aprendizaje de los alumnos.

Ordenar las prácticas de las simulaciones de forma concreta, con los objetivos a alcanzar en cada tipo de ejercicio y las decisiones al momento de dar alguna instrucción por parte de los alumnos que se encuentren en el control en la plataforma.

Fortalecer el proceso de retroalimentación posterior a cada práctica de simulación, permitiendo que los estudiantes conozcan los errores cometidos, comprendan sus causas y establezcan acciones orientadas a mejorar su desempeño operacional.

Mantener procesos de capacitación y actualización para los instructores encargados de utilizar la plataforma, con la finalidad de aprovechar de manera adecuada las funcionalidades del sistema y diseñar ejercicios acordes con las necesidades de formación aeronáutica.

Llevar a cabo estudios que después den la oportunidad de analizar la incidencia del uso constante de los programas en el aprendizaje de los alumnos, contrastando los desempeños iniciales y finales después de la ejecución de cada ejercicio.

Referencias

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Centro Aeroespacial Alemán - DLR). (2026). *ATMOS – Air Traffic Management Tower and Control Center Simulator*.

DGAC. (2019). *Publicación de Información Aeronáutica*.

Dirección General de Aviación Civil (DGAC). (2019). *Reglamento 211: Servicios de Tránsito Aéreo.* Quito, Ecuador.

Dirección General de Aviación Civil. (2026). *Aeronautical Information Publication.* Quito, Pichincha, Ecuador.

École Nationale de l'Aviation Civile. (2026). *ATC simulators*.

Estonian Aviation Academy (Eesti Lennuakadeemia). (2014). *Development and implementation of ATC simulator airspace procedures for air traffic control training*.

EUROCONTROL. (2026). *ESCAPE Simulator / Early Demonstration and Evaluation Platform*.

Federal Aviation Administration. (2025). *Development of the FAA Air Traffic Controller Academy Graduate Competency Model*.

International Civil Aviation Organization (ICAO) / Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2022). *Manual on Air Traffic Controller Competency-based Training and Assessment.* (segunda ed.). Montréal , Quebec, Canadá.

Jorge Ibáñez-Gijón, D. T. (2023). Experimental validation of COMETA model of mental workload in air traffic control. *Journal of Air Transport Management, 108*.

La Federal Aviation Administration FAA. (2026).

Li, X. Z. (2025). *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (NUAA) / Xinjiang ATMB*.

Liang, C. C. (2022). *Objective performance evaluation in air traffic control simulation using multi-source operational data*.

Manning, C. A. (2000). *Measuring Air Traffic Controller Performance in a High-Fidelity Simulation*.

National research Council. (1997). *Human Factors in Air Traffic Control* (primera ed.). Washington, D.C, Estados Unidos: National Academy Press.

National Research Council. (2011). *Aprendiendo ciencias mediante juegos de computadora y simulaciones.* Estados Unidos: National Research Council.

Nguyen, T. H. (2021). *Development of a 3D ATC simulation system for training and education*.

Ribeiro, J. M. (2011). *Integration of a military air traffic control simulator with a learning management system*.

Apéndices