



FACULTAD DE INGENIERÍA ADMINISTRATIVA E INGENIERÍA  
INDUSTRIAL

Optimizar Procesos en Gestión de Control de Tránsito Aéreo para Mejorar la  
Eficiencia Operativa en una Empresa de Navegación Aérea, 2024

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

**AUTOR**

Ortega Paima, Alessandra Stephanie

<https://orcid.org/0009-0008-9745-9104>

**ASESOR**

Dr. Muñoz Muñoz, Ricardo

<https://orcid.org/0000-0002-1768-0650>

**Lima-Perú, febrero 2025**

# Inf\_similitud\_Ortega\_Paima\_Alessandra\_Stephanie

## INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uigv.edu.pe">repositorio.uigv.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="https://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	4%
3	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="https://www.boe.es">www.boe.es</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://www.icao.int">www.icao.int</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Inca Garcilaso de la Vega Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad de Lima Trabajo del estudiante	1%
8	<a href="https://doku.pub">doku.pub</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://dokumen.site">dokumen.site</a>	

## DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y valores. Gracias por mostrarme que, con dedicación y trabajo constante, no hay sueño imposible. Cada logro que alcanzo lleva el significado especial de todo lo que me han enseñado y la inspiración que siempre encuentro en ustedes.

A mi esposo, por su apoyo incondicional, paciencia y fe en mí en cada paso de este camino. Eres mi compañero de vida y mi mayor motivación para seguir avanzando y superándome.

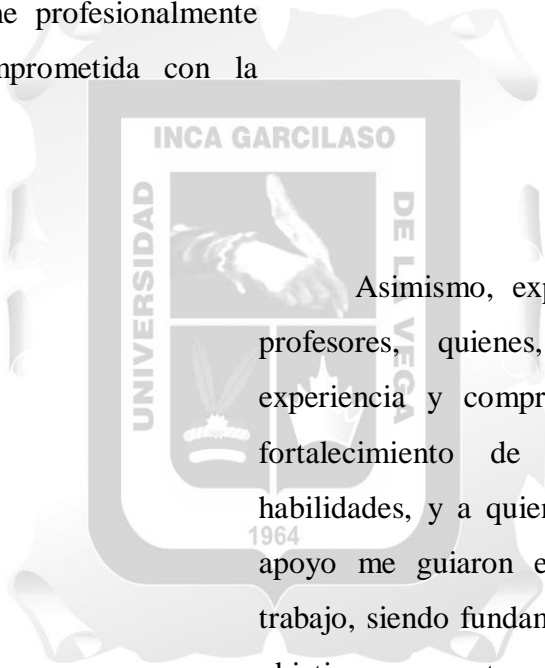
A mis hermanos, por ser mi alegría constante y por llenar mi vida de momentos inolvidables. Gracias por estar siempre presentes, por su amor y por ser una fuente constante de ánimo y apoyo.

Este trabajo también representa un reconocimiento al aprendizaje continuo; en un mundo en constante evolución, es esencial adaptarse y crecer mediante la educación permanente. La formación constante no solo nos permite alcanzar nuestros sueños, sino que también nos capacita para contribuir activamente a la construcción de un futuro mejor.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por acompañarme en cada paso de este camino y permitir que este logro sea posible.

Extiendo mi más profundo agradecimiento a la Universidad Inca Garcilaso de la Vega, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en una institución comprometida con la excelencia académica.

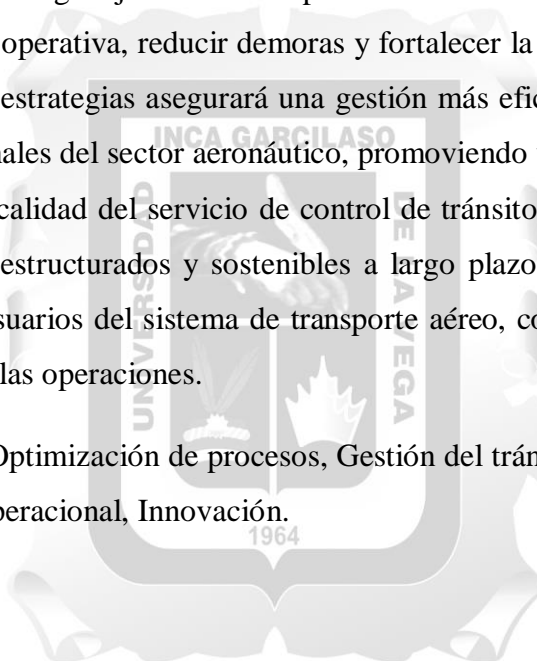
The logo of the Universidad Inca Garcilaso de la Vega is a shield-shaped emblem. At the top, it reads "INCA GARCILASO" in a bold, sans-serif font. Below this, the shield is divided into four quadrants. The top-left quadrant shows a hand holding a quill pen. The top-right quadrant shows a hand holding a book. The bottom-left quadrant features a sunburst or starburst design. The bottom-right quadrant shows a hand holding a scroll. The shield is flanked by the words "UNIVERSIDAD" on the left and "DE LA VEGA" on the right, both written vertically. At the bottom of the shield, the year "1964" is inscribed.

Asimismo, expreso mi gratitud a mis profesores, quienes, con su dedicación, experiencia y compromiso, contribuyeron al fortalecimiento de mis conocimientos y habilidades, y a quienes con su orientación y apoyo me guiaron en el desarrollo de este trabajo, siendo fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.

## RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivo optimizar la gestión del tránsito aéreo en la empresa mediante estrategias de modernización tecnológica, mantenimiento preventivo y eficiencia operativa. Se realizó un diagnóstico situacional para identificar los principales factores que afectan la eficiencia y seguridad del sistema de navegación aérea, considerando el aumento en la demanda de operaciones y la necesidad de optimización de recursos. A través del análisis de Pareto, se identificaron deficiencias clave, tales como la falta de planificación estratégica, obsolescencia tecnológica, insuficiencia de personal calificado e ineficiencia en los protocolos de comunicación. Se realizó un análisis comparativo de las posibles soluciones para determinar la estrategia más efectiva, concluyendo que la modernización tecnológica junto con una planificación estratégica optimizada permite incrementar la capacidad operativa, reducir demoras y fortalecer la seguridad operacional. La implementación de estas estrategias asegurará una gestión más eficiente, ágil y alineada con los estándares internacionales del sector aeronáutico, promoviendo un uso más racional de los recursos y mejorando la calidad del servicio de control de tránsito aéreo. Además, permitirá establecer procesos más estructurados y sostenibles a largo plazo, beneficiando tanto a los operadores como a los usuarios del sistema de transporte aéreo, contribuyendo a una mayor eficiencia y seguridad en las operaciones.

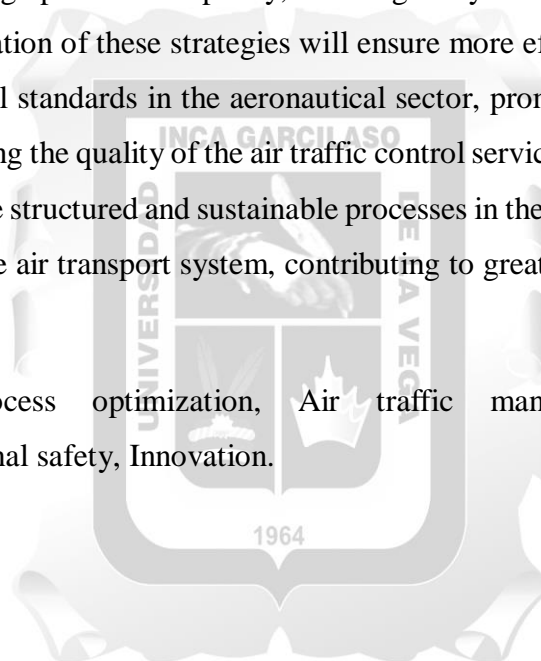
**Palabras clave:** Optimización de procesos, Gestión del tránsito aéreo, Modernización tecnológica, Seguridad operacional, Innovación.



## ABSTRACT

The objective of this professional proficiency work is to optimize air traffic management in the company through technological modernization strategies, preventive maintenance and operational efficiency. A situational diagnosis was carried out to identify the main factors that affect the efficiency and safety of the air navigation system, considering the increase in demand for operations and the need for resource optimization. Through Pareto analysis, key deficiencies are identified, such as lack of strategic planning, technological obsolescence, insufficient qualified personnel, and inefficiency in communication protocols. A comparative analysis of the possible solutions was carried out to determine the most effective strategy, concluding that technological modernization together with optimized strategic planning allows increasing operational capacity, reducing delays and strengthening operational security. The implementation of these strategies will ensure more efficient, agile management aligned with international standards in the aeronautical sector, promoting a more rational use of resources and improving the quality of the air traffic control service. In addition, it will allow the establishment of more structured and sustainable processes in the long term, benefiting both operators and users of the air transport system, contributing to greater efficiency and safety in operations.

**Keywords:** Process optimization, Air traffic management, Technological modernization, Operational safety, Innovation.



## ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>2</b>
1.1 Descripción de la empresa o institución.....	3
1.2 Descripción del producto o servicio.....	4
1.3 Ubicación geográfica y contexto socioeconómico.....	8
1.4 Actividad general o área de desempeño.....	9
1.5 Misión y visión.....	9
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EXPERIENCIA.....</b>	<b>10</b>
2.1. Actividad profesional desarrollada .....	11
2.2. Propósito del puesto y funciones asignadas .....	11
2.3. Aplicación de la teoría en la práctica del desempeño profesional.....	12
<b>CAPÍTULO III: FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA ELEGIDO.....</b>	<b>14</b>
3.1. Descripción de la Problemática .....	15
3.2. Teoría sobre la problemática .....	18
3.3. Análisis de la problemática .....	27
<b>Capitulo IV: PRINCIPALES CONTRIBUCIONES.....</b>	<b>36</b>
4.1. Descripción de alternativas de solución.....	37
4.2. Evaluación de alternativas de solución. ....	38

4.3. Implementación de alternativa seleccionada actividades y procedimientos ....	44
4.4. Costo de implementación .....	54
4.5. Evaluación de factibilidad de la implementación .....	54
Conclusiones .....	60
recomendaciones .....	61
Bibliografía .....	62



**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Causas de las ineficiencias en la gestión del tránsito aéreo.....	28
Tabla 2. Priorización de causas.....	34
Tabla 3. Criterios de evaluación de alternativas de solución .....	42
Tabla 4. Matriz de comparación de alternativas .....	43
Tabla 5. Costos de la Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM) .....	54
Tabla 6. Cronograma del proceso de transición .....	56
Tabla 7. Proyección de recuperación de inversión .....	58



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de los aeropuertos.....	3
Figura 2. Ubicación Geográfica.....	8
Figura 3. Árbol del problema.....	29
Figura 4. Diagrama de Pareto de las causas .....	35
Figura 5. Principales flujos de tránsito.....	45
Figura 6. Proceso de planificación.....	46
Figura 7. Estructura de un programa de capacitación.....	55



## INTRODUCCIÓN

El trabajo de suficiencia evalúa la situación de la empresa estudiada, desarrollando una solución para mitigar deficiencias y así cumplir con el objetivo de optimizar los procesos de gestión de control de tránsito aéreo en la empresa, tomando en consideración la falta de integración de sistemas de navegación, el tráfico aéreo, los equipos y tecnologías obsoletos y capacitación de personal.

Para llegar a alcanzar el propósito del proyecto de suficiencia, esta fue estructurada por capítulos ordenados con una secuencia de cuatro capítulos, siendo estos los siguientes.

Capítulo I: Aspectos generales: Este capítulo ofrece una descripción detallada de la organización en la que se llevó a cabo la experiencia profesional. Se incluyen detalles sobre la estructura de la organización, los servicios que ofrece, su ubicación geográfica y las actividades que realiza, haciendo énfasis en su misión y visión. Además, se aborda la estructura organizativa, su tamaño, alcance en el mercado y su posición dentro de la industria.

Capítulo II: Descripción general de la experiencia: En este capítulo se analiza la experiencia profesional del bachiller, destacando las tareas realizadas, la relevancia del puesto ocupado y cómo los conocimientos adquiridos en la universidad fueron aplicados de manera práctica.

Capítulo III: Fundamentos del tema elegido: Este apartado explora en profundidad el tema seleccionado, analizando la problemática identificada y revisando las teorías y conceptos pertinentes. Se presenta un marco teórico sólido que respalda la experiencia profesional, considerando diferentes perspectivas y enfoques para comprender mejor el entorno en el que se desarrolló la experiencia.

Capítulo IV: Principales Contribuciones: Se detallan las alternativas de solución propuestas para resolver la problemática planteada, describiendo la implementación de la opción elegida y evaluando los costos asociados al proyecto.

Al final, se incluyen las conclusiones y recomendaciones del proyecto, así como una lista completa de las referencias bibliográficas utilizadas, que sustentan el trabajo realizado.

**CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

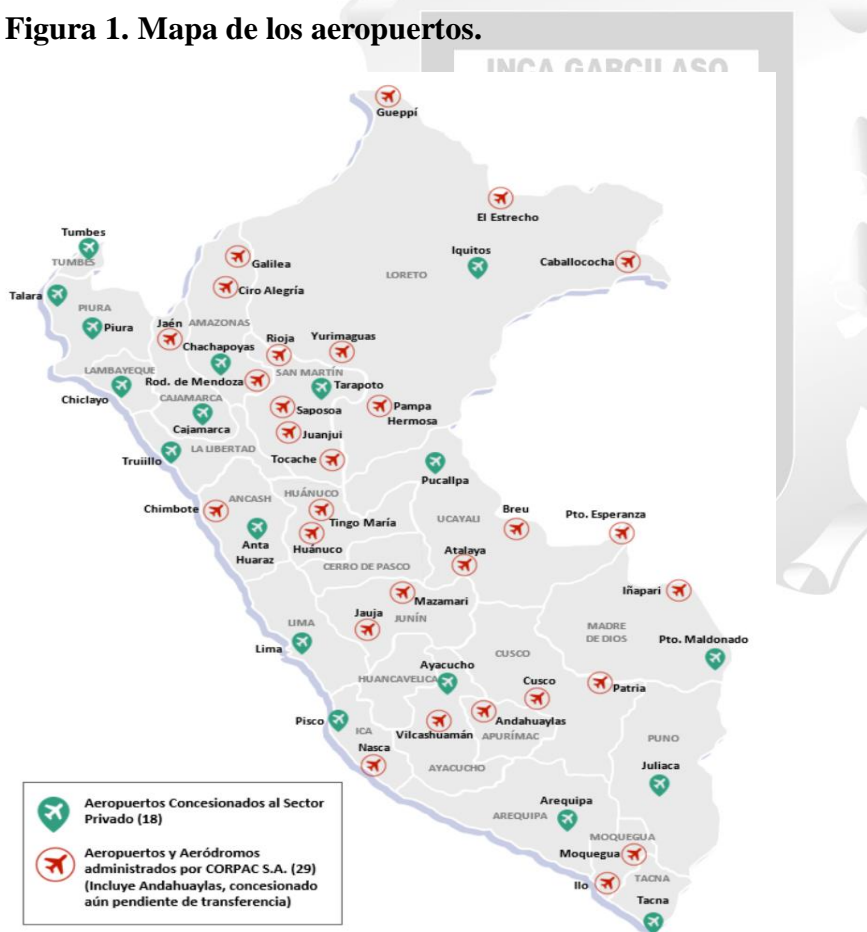


## 1.1 Descripción de la empresa o institución

El organismo objeto de este estudio es un centro de operación del gobierno peruano, responsable de la administración de varios aeropuertos a escala nacional. Este ente tiene el deber de asegurar la seguridad y eficacia del transporte aéreo en el territorio peruano. En la actualidad, funciona un moderno Centro de Control de Operaciones Aéreas Nacional, situado estratégicamente en la zona sur del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Este centro administra el 95% del tráfico aéreo nacional a través de un sofisticado sistema de Supervisión Dependiente Automática (ADS-B) y una red de ocho radares secundarios, situados estratégicamente en lugares claves del país con el objetivo de incrementar la cobertura y potenciar la seguridad en las operaciones.

A continuación, se presenta el mapa de los aeropuertos operados por la empresa.

**Figura 1. Mapa de los aeropuertos.**



Fuente: Pagina web de la empresa.

En la figura N° 1 se presenta los aeropuertos operados por la empresa.

## 1.2 Descripción del producto o servicio

La compañía tiene la responsabilidad de operar, controlar y dotar de equipamiento los aeropuertos comerciales autorizados para el transporte aéreo en el Perú. Su administración comprende la gestión de dependencias, servicios, instalaciones y equipos requeridos para asegurar la seguridad y eficacia en las operaciones aeronáuticas, respetando las regulaciones internacionales ratificadas por el Estado Peruano y las leyes pertinentes.

La Corporación suministra las infraestructuras, servicios y procesos para la navegación aérea, constituyendo de esta manera un sistema unificado, concebido para cumplir en un futuro próximo, con los requerimientos operativos de las aeronaves civiles a nivel nacional e internacional dentro de los límites de la región de información de vuelo (FIR) Lima. Por lo tanto, el principal propósito social de la empresa es lo siguiente:

- Operar, dotar de equipamiento y conservar aeropuertos comerciales accesibles para el tránsito aéreo, incluyendo las instalaciones, servicios, infraestructuras y equipos necesarios para la técnica aeronáutica, conforme a las normas internacionales ratificadas por el Estado Peruano y las regulaciones legales y reglamentarias relacionadas con el funcionamiento de los aeropuertos y sus servicios.
- Implementar, administrar y preservar los servicios de ayuda a la aeronavegación, radiocomunicaciones aéreas y otros servicios técnicos requeridos para la seguridad de las operaciones aéreas del país.
- Implementar y preservar el ordenamiento del tráfico aéreo y su control correspondiente que sea asignado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Implementar los sistemas de comunicación adecuados e idóneos necesarios para regular y controlar el tránsito aéreo de sobrevuelo.

La compañía proporciona una extensa variedad de servicios vinculados con la administración y funcionamiento de aeropuertos y la navegación aérea en Perú. En cada una de ellas, se consolidan los principios y objetivos establecidos por la institución con el propósito de brindar seguridad y calidad a todos sus usuarios. Estos servicios se dividen en:

### **a) Servicios de Navegación Aérea**

Servicio de Control de Tránsito aéreo: El servicio de control de tránsito aéreo asegura elevados niveles de seguridad para las aeronaves en vuelo y en las cercanías de los aeropuertos, administrando eficazmente todas las rutas aéreas dentro del territorio nacional. Este servicio asegura una fluidez constante del tránsito aéreo mediante el uso de sistemas de radar avanzados, capaces de identificar y monitorear aeronaves a varias millas de distancia. Esto facilita la gestión del tráfico aéreo y proporciona una seguridad óptima en todas las operaciones.

Meteorología Aeronáutica: El área de meteorología aeronáutica suministra información meteorológica precisa y en tiempo real, esencial para la planificación y ejecución segura de las operaciones aeronáuticas. Se recolectan datos de superficie y altitud, imágenes de satélites meteorológicos, y datos alfanuméricos y gráficos del Sistema Mundial de Pronóstico de Área (WAFS). Esta información se procesa y examina para crear predicciones de aeródromo y ruta, favoreciendo la seguridad, la regularidad y la eficacia del transporte aéreo a escala nacional e internacional.

Telecomunicaciones en el Ámbito Aeronáutico: El sistema de telecomunicaciones en el ámbito aeronáutico garantiza una comunicación eficaz y constante entre pilotos, controladores de tránsito aéreo y estaciones terrestres, utilizando sistemas sofisticados de comunicación de voz y datos. Además, comprende aparatos de navegación tales como NDB, VOR, DME, ILS y GPS. La organización se ocupa del mantenimiento preventivo y correctivo, además de la actualización continua de los equipos para asegurar la confiabilidad en las operaciones.

Información Aeronáutica: El servicio de información aeronáutica proporciona datos actualizados y esenciales para la operación de vuelos nacionales e internacionales. Esto incluye la publicación de cartas aeronáuticas, la emisión de NOTAMs, boletines informativos y la gestión integral de información sobre rutas y procedimientos de vuelo, asegurando que las operaciones cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia establecidos.

### **b) Servicios Aeroportuarios**

Seguridad Aeroportuaria: El principal propósito del área de seguridad aeroportuaria, administrada por la Corporación, es garantizar de manera eficaz la protección del bienestar de las personas, así como la seguridad las aeronaves, las instalaciones de navegación aérea y los equipos aeroportuarios. Esto se logra mediante la implementación y ejecución de procedimientos especializados que previenen y mitigan actos de interferencia ilícita,

asegurando un entorno seguro en todas las áreas del aeropuerto.

El personal encargado de la seguridad está altamente calificado, participando en programas permanentes de formación y certificación que les permiten actualizar sus competencias técnicas y operativas. Además, se dispone de sistemas de control avanzados, instalados estratégicamente en salas de embarque y accesos a zonas restringidas, lo que refuerza la capacidad de monitoreo y respuesta ante posibles amenazas.

Salvamento y Extinción de Incendios (SEI): La misión principal del Área de Salvamento y Extinción de Incendios (SEI) es prevenir y responder frente a accidentes aéreos y emergencias en instalaciones aeroportuarias, con el objetivo esencial de proteger vidas humanas. El equipo designado para este departamento recibe capacitación constante en combatir incendios en aeronaves e infraestructuras, primeros auxilios, identificación de aeronaves y gestión de emergencias con materiales peligrosos. La capacitación constante garantiza una respuesta inmediata y efectiva en situaciones críticas, fortaleciendo la seguridad operativa.

Infraestructura y Mantenimiento: Este departamento se ocupa de la administración completa de los terminales, pistas y plataformas aeroportuarias, garantizando su conservación y funcionamiento acorde a las normas internacionales. Además, comprende la suministración de electricidad para los sistemas aeronáuticos, junto con el diseño, instalación y conservación de sistemas de ayudas luminosas, fundamentales para las operaciones de navegación y seguridad aérea.

Tráfico de pasajeros y carga: El sector de tráfico de pasajeros y carga asegura una conexión eficaz entre aeronaves y terminales, propiciando una experiencia segura y fluida para los clientes. Igualmente, administra el manejo, organización y desplazamiento de carga y equipaje, mejorando los procedimientos logísticos en los aeropuertos, acorde a las exigencias operativas del sector aeronáutico a escala nacional e internacional.

### **c) Servicios de Vigilancia y Ayudas a la navegación**

El sistema de vigilancia del tráfico aéreo utiliza tecnología de vanguardia en radares primarios y secundarios, junto con sistemas de Vigilancia Dependiente Automática por Radiodifusión (ADS-B), asegurando así una cobertura nacional eficaz y exacta. La compañía opera un Sistema Radar Primario de estructura sólida y un Sistema Secundario Monopulso (MSSR), ambos ubicados en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez en Lima, lugar desde

el cual se ofrece el Servicio de Control Radar. Estos sistemas posibilitan un monitoreo continuo y fiable del tráfico aéreo, aportando de manera significativa a la seguridad y a la fluidez de las operaciones en el sector aeronáutico.

**Ayudas Visuales y Luminosas:** El sistema de ayudas visuales y luminosas está diseñado para simplificar las operaciones de aproximación y aterrizaje, garantizando operaciones seguras en diversas condiciones de visibilidad. Abarca sistemas de iluminación de aproximación, luces de pista y sistemas de indicadores de ruta de aproximación como PAPI (Precision Approach Path Indicator) y VASI (Visual Approach Slope Indicator). Estas herramientas mejoran la precisión y seguridad durante las etapas críticas del vuelo.

**Radioayudas:** Los sistemas de radioayuda incorporan tecnologías como VOR (VHF Omnidirectional Range), DME (Distance Measuring Equipment), el NDB (Non-Directional Beacon) y navegación RNAV (Area Navigation). Estos sistemas proporcionan una cobertura efectiva en rutas de vuelo de gran altitud y durante las fases de aproximación, garantizando una navegación aérea segura y eficiente, acorde con los estándares internacionales.

#### **d) Capacitación y Formación**

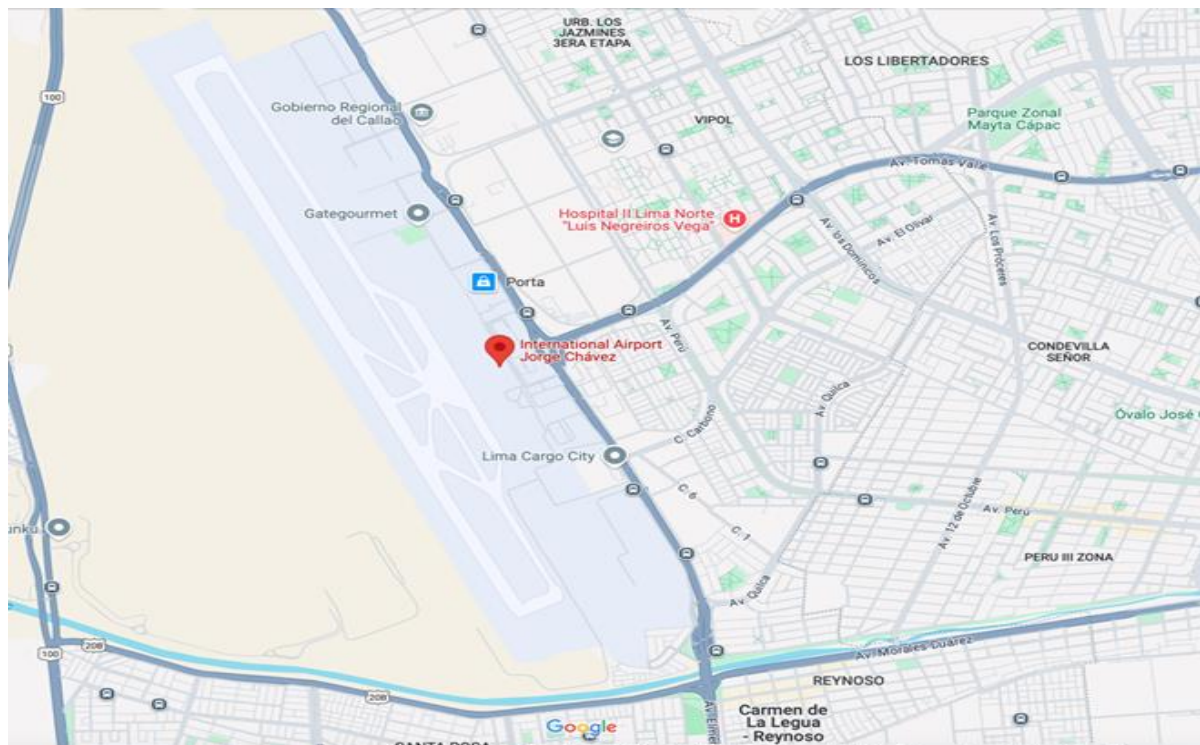
El personal encargado de las operaciones de seguridad y control, incluidos los rescatistas y el personal de operaciones aeroportuarias, recibe formación especializada y continua en áreas clave como navegación aérea avanzada, gestión de operaciones aeroportuarias, y protocolos de seguridad aérea. Los programas de capacitación están diseñados para optimizar las competencias técnicas y operativas, garantizando que el personal esté preparado para responder con eficacia ante cualquier eventualidad en el entorno aeronáutico.

**Simulacros de Emergencia:** Se realizan regularmente ejercicios de simulacro de emergencia, con el propósito de analizar la capacidad de reacción del personal ante incidentes aeronáuticos de diversa magnitud. Estos simulacros incluyen escenarios de emergencias aéreas, con el fin de verificar la coordinación, rapidez y efectividad de las acciones de los equipos de intervención, asegurando que los procedimientos de seguridad y evacuación sean ejecutados de acuerdo con los estándares establecidos, tanto a nivel nacional como internacional.

### 1.3 Ubicación geográfica y contexto socioeconómico

La empresa está ubicada en Av. Elmer Faucett, Callao 07021

**Figura 2.** Ubicación Geográfica.



Fuente: Imagen obtenida en Google Maps

#### Contexto Socio Económico de la Provincia Constitucional del Callao

El Callao es una región estratégica para la economía peruana debido a su puerto principal y al Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, que lo posicionan como un nodo central del comercio exterior. Además, su zona industrial y pesquera generan empleos y dinamizan la economía local, aunque persisten desigualdades significativas en el acceso a oportunidades y servicios básicos entre sus distritos.

En términos sociales, el Callao tiene más de un millón de habitantes, muchos provenientes de migraciones internas. La región enfrenta problemas de desigualdad, con zonas desarrolladas como La Punta contrastando con áreas vulnerables como Ventanilla y Mi Perú. Aunque hay instituciones educativas y de salud de calidad, su distribución es desigual, lo que afecta el bienestar de las comunidades menos favorecidas.

El turismo y la cultura son esenciales, con atracciones como la Fortaleza del Real Felipe y una sólida tradición musical, en particular en la salsa y la música criolla. No obstante, el crecimiento turístico se ve restringido por la inseguridad ciudadana, uno de los problemas más graves que impactan la percepción y el nivel de vida en la región.

Entre los principales desafíos del Callao están la modernización de su puerto, la mejora de su infraestructura urbana y el fortalecimiento de la seguridad ciudadana. Asimismo, es fundamental abordar la contaminación ambiental y promover políticas de desarrollo inclusivo para reducir la desigualdad y aprovechar su potencial económico y cultural de manera sostenible.

#### **1.4 Actividad general o área de desempeño**

La compañía aporta de forma considerable al crecimiento y reforzamiento de la aviación comercial en la nación, fomentando su crecimiento a través de proyectos de equipamiento, actualización y mejora de los aeropuertos y aeródromos que gestiona a escala nacional. Mediante estos proyectos, la compañía proporciona la infraestructura requerida para un tránsito aéreo eficaz, asegurando una operación segura y fluida para las aeronaves comerciales que se desplazan por el espacio aéreo peruano. Además, ofrece una extensa variedad de servicios adicionales enfocados en el cuidado y el bienestar de los pasajeros, respetando los estándares de operación y seguridad aérea más elevados.

#### **1.5 Misión y visión**

Misión:

“Gestionar los Servicios de Navegación Aérea y Aeroportuarios con seguridad, eficiencia, calidad y responsabilidad ambiental, contribuyendo al desarrollo socioeconómico del país.”

Visión:

“Ser una empresa reconocida, líder en la gestión y provisión de los Servicios de Navegación Aérea y Aeroportuarios; con innovación, sostenibilidad y formación del talento humano.”

Valores:

- Excelencia en el servicio
- Compromiso
- Integridad
- Innovación
- Seguridad
- Sostenibilidad

**CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EXPERIENCIA**



## 2.1. Actividad profesional desarrollada

La investigadora se desempeñó como Controlador de Tránsito Aéreo en el área de Servicios de Tránsito Aéreo en Cusco.

## 2.2. Propósito del puesto y funciones asignadas

Durante el desempeño como Controlador de Tránsito Aéreo, según el manual de obligaciones y funciones del puesto de trabajo se le asignaron responsabilidades relacionadas con proporcionar el servicio de control de aproximación por procedimiento dentro del área de control terminal, manteniendo un flujo seguro, ordenado y rápido, asegurando un control ordenado y eficiente, de acuerdo con las normas y procedimientos nacionales e internacionales vigentes.

### Funciones Específicas

Proporcionar el servicio de control de aproximación dentro del espacio aéreo bajo su jurisdicción como plan de contingencia en caso no esté disponible el radar.

Brindar a las aeronaves los informes meteorológicos ordinarios y especiales para la realización segura y eficiente de los vuelos.

Mantener escucha continua en los canales de comunicaciones asignados.

Registrar el crecimiento del vuelo en las franjas de progresión de los vuelos de todas las aeronaves de manera oportuna.

Retransmitir, cuando sea necesario, información sobre el estado de funcionamiento de las instalaciones y advertencias para la aeronavegación.

Cumplir con lo establecido en el Manual de Procedimientos ATS y las disposiciones de la reglamentación ATC vigente.

Brindar toda la asistencia posible a las aeronaves que se encuentren en situación de emergencia o de peligro.

Realizar la oportuna coordinación y transferencia de responsabilidad del tránsito con otras dependencias de control (Centro de Control de Área de Lima, dependencias adyacentes).

Permanecer en su puesto de control durante los turnos de guardia hasta ser relevado por un CTA entrante.

Informar al Supervisor ATS sobre cualquier problema de comunicación, radio ayudas, equipos, cambios de turno, papeletas de permiso etc.

Emitir las autorizaciones ATC para los vuelos IFR que salen.

Coordinar con los aeródromos de su jurisdicción el tránsito de salida o llegada de aeronaves.

Establecer la secuencia de llegadas en coordinación con la dependencia que corresponda.

Autorizar el ingreso de los vuelos IFR al TMA y de los vuelos VFR al CTR.

Notificar al Supervisor ATS cuando se presente alguna situación que vaya a originar demora al tránsito aéreo bajo su jurisdicción

Alertar a las dependencias u organismos pertinentes los casos de emergencia, interferencia ilícita o interceptación de aeronaves, poniendo en conocimiento al Supervisor ATS.

Verificar el funcionamiento de los equipos de comunicaciones, monitores, equipos portátiles de emergencia, etc., comunicando las deficiencias que se presenten.

Comprobar el funcionamiento de las radios ayudas comunicando su inoperatividad a los técnicos responsables.

Informar al Supervisor ATS sobre el desarrollo y avance de sus actividades.

Conocer y cumplir el Manual de Organización y Funciones, los sistemas y procedimientos relacionados con las actividades que desarrolla, así como el reglamento interno de trabajo y otras disposiciones administrativas y/u operacionales establecidas por la Corporación.

Otras funciones inherentes a su cargo que le asigne el Supervisor ATS.

### **2.3. Aplicación de la teoría en la práctica del desempeño profesional**

El egresado de la carrera de Ingeniería Industrial es una pieza clave en el ámbito de control de tránsito aéreo debido a su capacidad para integrar procesos personas y tecnologías en sistemas altamente complejos. Su formación en la optimización de recursos, la mejora continua y la gestión de sistemas lo convierte en un aliado clave para garantizar que las operaciones de tráfico aéreo sean eficientes, seguras y sostenibles. Además, combina conocimientos especializados adquiridos en su especialización académica, con herramientas avanzadas para optimizar procesos potenciar la eficiencia operativa y promover la innovación en un entorno crítico y constante evolución, como se detalla a continuación:

**Gestión de Recursos y Optimización de Procesos:** En mi rol, gestiono múltiples vuelos y coordino recursos limitados, como el espacio aéreo y las rutas, para evitar conflictos. Al igual que en la ingeniería industrial, esta tarea implica una asignación eficiente de recursos, optimizando el flujo y asegurando la seguridad en un entorno de alta presión.

**Seguridad y Gestión de Riesgos:** La seguridad es fundamental tanto en el control de tránsito aéreo como en la ingeniería industrial. En mi trabajo, tomo decisiones en tiempo real para garantizar la seguridad de los vuelos, mientras que los ingenieros industriales gestionan riesgos operacionales para evitar accidentes y fallos. En ambos casos, la evaluación y mitigación de riesgos son aspectos esenciales.

**Análisis de Datos:** Los controladores de tránsito aéreo y los ingenieros industriales recurren al análisis de datos para mejorar la toma de decisiones. Mi labor incluye monitorear información en tiempo real para gestionar el tráfico, mientras que los ingenieros industriales utilizan datos para optimizar procesos y mejorar la eficiencia.

**Gestión de Proyectos:** La ingeniería industrial se enfoca en la mejora continua a través de la coordinación de proyectos, algo que también aplicamos los controladores en nuestro entorno. La coordinación constante y el cumplimiento de protocolos son fundamentales para garantizar la seguridad y eficiencia del tráfico aéreo.

**Trabajo en Equipos Multidisciplinarios:** Tanto la ingeniería industrial como el control de tránsito aéreo requieren de colaboración en equipos multidisciplinarios. Mientras los ingenieros industriales interactúan con áreas como producción y logística, los controladores colaboramos estrechamente con pilotos, personal de operaciones y otros controladores para mantener un flujo seguro en el tráfico aéreo.

**Aplicación de Herramientas de Simulación y Modelado:** La ingeniería industrial emplea herramientas de simulación para optimizar sistemas. De manera similar, en mi trabajo usamos simulaciones tanto para el entrenamiento en toma de decisiones bajo presión como para anticipar y resolver posibles conflictos en el espacio aéreo.

En resumen, tanto la ingeniería industrial como el control de tránsito aéreo comparten el objetivo de optimizar recursos, asegurar la seguridad y promover la eficiencia en contextos complejos.

**CAPÍTULO III: FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA ELEGIDO**



### 3.1. Descripción de la Problemática

A nivel mundial, gestión del control del tránsito aéreo enfrenta desafíos significativos debido al crecimiento acelerado del tráfico aéreo, la saturación de los espacios aéreos y la creciente complejidad de las operaciones aeroportuarias. Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2020), se prevé que el volumen del tráfico aéreo se duplicará para el año 2040, lo que enfatiza la necesidad de modernizar y optimizar los sistemas de gestión del tránsito aéreo. Este crecimiento exponencial exige la implementación de tecnologías avanzadas y procesos operativos más eficientes para garantizar tanto la seguridad como la sostenibilidad de las operaciones. La carencia de modernización en estos sistemas no solo incrementa la probabilidad de incidentes o accidentes, sino que también genera retrasos significativos y costos operativos adicionales para las empresas de navegación aérea, afectando la competitividad y la experiencia de los usuarios.

La gestión eficiente del control de tránsito aéreo es esencial para mejorar la eficiencia operativa en las empresas de navegación aérea. Se proyecta que el mercado de gestión del tráfico aéreo registrará una tasa compuesta anual superior al 6% durante el período 2024-2029 (MORDOR, 2023). Este crecimiento conlleva una elevación considerable en la demanda de servicios de navegación aérea, lo que exige la modernización y optimización de los sistemas de control de tránsito aéreo para garantizar operaciones seguras y eficientes. Por otro lado, en una investigación realizada por Alfaya y Ángel (2025), en el 2024 los aeropuertos de Canarias gestionaron 52,8 millones de pasajeros, un aumento del 9% respecto al año anterior.

En América Latina, los desafíos asociados a la gestión del tránsito aéreo se ven exacerbados por la insuficiencia de las infraestructuras aeroportuarias y de navegación aérea, muchas de las cuales no están diseñadas para gestionar el creciente volumen de operaciones. Según el informe del Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI, 2019), aproximadamente el 30% de los aeropuertos en la región opera por encima de su capacidad. Esto genera importantes cuellos de botella en las rutas aéreas, incrementa la carga de trabajo para los controladores aéreos y compromete la efectividad de las operaciones. Como resultado, se observa una disminución de la eficiencia operativa, reflejada en retrasos, desviaciones de vuelo y un aumento significativo en los costos operativos. Además, esta circunstancia impacta de manera adversa en la experiencia de los usuarios y pone en riesgo la sostenibilidad de los servicios aéreos en el mediano y largo plazo.

Según Barbosa, et al. (2024) Durante 2023, el volumen de tráfico aéreo creció en promedio un 18% en los aeropuertos de la región, superando significativamente el crecimiento

económico local, que fue del 1.8% en el mismo período. En enero de 2024, el tráfico de pasajeros en Latinoamérica y el Caribe aumentó un 7.6% en comparación con el mismo mes del año anterior, lo que se traduce en casi 3 millones de pasajeros adicionales (ALTA NEWS, 2024). En un estudio por Larenas (2024) indica que en América latina el primer trimestre del 2024 el tráfico aéreo de pasajeros en América Latina y el Caribe creció un 9% en comparación con el mismo período del año anterior, alcanzando 10 millones de pasajeros adicionales. Mientras que en el primer semestre el volumen de pasajeros aumentó un 4,7% respecto al mismo período del año anterior. Países como Perú, Colombia y Chile registraron incrementos del 20%, 17% y 16%, respectivamente.

En el contexto peruano, la situación actual refleja un entorno operativo altamente complejo, donde los controladores de tránsito aéreo enfrentan una creciente carga laboral en sistemas que requieren modernización inmediata. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2023), el tráfico aéreo en el país ha experimentado un incremento del 25% en la última década. Sin embargo, la capacidad de gestión de los sistemas de navegación aérea no ha evolucionado al mismo ritmo, lo que compromete la seguridad operativa, genera congestión en los espacios aéreos y provoca retrasos significativos en los vuelos. Esta problemática se agrava por la insuficiencia de personal especializado y la carencia de programas de capacitación adecuados para el personal existente, lo que incrementa la carga laboral y reduce la capacidad de respuesta ante situaciones imprevistas. Estas deficiencias operativas no solo impactan negativamente en la seguridad y la eficiencia del sistema, sino que también dificultan la implementación de mejoras tecnológicas y operativas necesarias para atender la creciente demanda del sector aeronáutico.

En 2023, las exportaciones aéreas de Perú alcanzaron un total de 88,048 toneladas métricas, lo que representó una caída del 4.3% en comparación con el año anterior. De este total, el 79.8% correspondió a productos agrícolas. Los principales productos exportados incluyeron espárragos frescos o refrigerados (35,559 TM, con una disminución del 10.1% anual), mangos frescos (16,433 TM, un incremento del 1.6%) y arándanos frescos (7,260 TM, con un notable aumento del 184.7%) (Comexperu, 2023). Según el informe de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA, 2023), se proyecta un incremento del 4 al 5% en la demanda global de carga aérea para 2024. En este contexto, para que Perú logre cumplir con las expectativas de crecimiento, resulta crucial fortalecer su competitividad logística, optimizando la infraestructura y los procesos del sector aéreo (Comexperu, 2023).

La falta de integración tecnológica y la ausencia de programas eficaces de gestión de recursos humanos representan barreras significativas que limitan la capacidad de respuesta ante

imprevistos y emergencias. En este contexto, la optimización de los procesos relacionados con la gestión del tránsito aéreo no solo se configura como una necesidad operativa, sino como un imperativo estratégico para garantizar la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia del sector aeronáutico. La implementación de tecnologías avanzadas, como los sistemas de vigilancia dependiente automática por radiodifusión (ADS-B), la modernización de los procedimientos operativos y la capacitación continua de los controladores aéreos emergen como soluciones clave para abordar estas problemáticas.

A nivel local, la empresa encargada de la navegación aérea, responsable de la gestión del tránsito aéreo (ATM), desempeña un rol fundamental en la garantía de seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las operaciones. Sin embargo, enfrenta desafíos derivados de la creciente demanda de servicios aéreos, la complejidad de las operaciones y la necesidad imperiosa de implementar procesos ágiles y seguros que minimicen los riesgos operacionales. La falta de optimización en procesos críticos, como la planificación del espacio aéreo, el mantenimiento de sistemas de navegación y comunicaciones, y la gestión en tiempo real del tráfico aéreo, puede dar lugar a retrasos, incremento en el consumo de combustible y riesgos potenciales para la seguridad operacional.

Este estudio tiene como propósito desarrollar un plan integral enfocado en la optimización de los procesos dentro de la gestión del control de tránsito aéreo de la empresa, mediante la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo. Asimismo, se contempla el uso de herramientas de mejora continua que fortalezcan la eficiencia operativa y la seguridad en las operaciones aéreas. El objetivo central es mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y equipos críticos, optimizando la gestión del tránsito aéreo y garantizando la seguridad operacional.

#### Problema general y específicos

##### Problema general

¿Cómo optimizar los procesos de gestión de tránsito aéreo de una empresa que proporciona servicios de navegación aérea para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad?

##### Problemas específicos

¿Qué actividades frecuentes de mantenimiento y gestión deben priorizarse para garantizar la disponibilidad operativa?

¿Cuál es el impacto económico y operativo de las mejoras propuestas en los procesos de gestión de tránsito aéreo?

## Objetivo general y específicos

### Objetivo general

Optimizar los procesos de gestión de control de tránsito aéreo en la empresa mediante la implementación de mejoras en el mantenimiento preventivo y en la gestión operativa.

### Objetivos específicos

Realizar un diagnóstico de los procesos actuales en la gestión de tránsito aéreo en la empresa.

Identificar las actividades críticas que afectan la eficiencia y la seguridad operacional.

Evaluar el impacto económico, operacional y de seguridad de la implementación de un plan de optimización.

## 3.2. Teoría sobre la problemática

### Control de Tránsito Aéreo

El Control de Tránsito Aéreo (ATC, por sus siglas en inglés) es el servicio proporcionado por entidades autorizadas para supervisar y gestionar los movimientos de las aeronaves en el espacio aéreo, tanto en vuelo como en el acercamiento y salida de los aeropuertos. Este servicio tiene como objetivo principal garantizar la seguridad, eficiencia y fluidez del tráfico aéreo, minimizando el riesgo de colisiones y gestionando las rutas de vuelo de manera que se optimice el uso del espacio aéreo disponible. El ATC se realiza a través de una serie de sistemas tecnológicos avanzados, que incluyen radares, radioayudas, y sistemas de vigilancia automática como el ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast), permitiendo a los controladores aéreos mantener la supervisión continua de las aeronaves, incluso en condiciones meteorológicas adversas o en áreas remotas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016).

Según el Manual de Procedimientos de Control de Tránsito Aéreo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (2016), “el control de tránsito aéreo es fundamental para garantizar la seguridad operacional en los cielos, gestionando el flujo del tráfico aéreo y coordinando las aeronaves para evitar colisiones” (p. 5). Por otro lado, la Organización de Aviación Civil Internacional (2021) establece que el ATC es un componente esencial de la infraestructura aeronáutica global, ya que proporciona los medios necesarios para coordinar los

movimientos de aeronaves en el espacio aéreo internacional, promoviendo la interoperabilidad entre los servicios de distintos países.

### Características del Control de Tránsito Aéreo

El Control de Tránsito Aéreo (ATC) presenta una serie de características clave que aseguran la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del tráfico aéreo. Estas características están respaldadas por normativas internacionales y avances tecnológicos que buscan garantizar la correcta gestión del espacio aéreo y la prevención de incidentes.

**Seguridad operacional:** La seguridad es la prioridad fundamental del ATC. A través de procedimientos estandarizados y sistemas avanzados de monitoreo, el ATC minimiza el riesgo de colisiones en el aire y en tierra. Según la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, 2021), servicios de control de tránsito aéreo se diseñan para asegurar la separación adecuada entre aeronaves, tanto en vuelo como durante las maniobras de aterrizaje y despegue. Este enfoque incluye la implementación de sistemas como el TCAS (Traffic Collision Avoidance System), que mejora la capacidad de las aeronaves para evitar conflictos.

**Gestión del espacio aéreo:** Una característica esencial del ATC es la planificación y organización eficiente del espacio aéreo. Esto incluye la división en diferentes áreas de control, como el espacio aéreo superior e inferior, además de zonas terminales y aeropuertos. De acuerdo con Eurocontrol (2020), la segmentación del espacio aéreo permite a los controladores aéreos gestionar grandes volúmenes de tráfico con eficiencia, reduciendo demoras y optimizando las rutas de vuelo.

**Tecnología avanzada:** El ATC se basa en el uso de tecnologías como radares primarios y secundarios, sistemas de vigilancia dependiente automática (ADS-B), y sistemas de navegación por satélite. Estas herramientas permiten un seguimiento en tiempo real de las aeronaves. Según Federal Aviation Administration (2021), la incorporación de tecnologías como ADS-B ha mejorado significativamente la precisión y la cobertura de los sistemas de vigilancia aérea, incluso en áreas remotas.

**Coordinación internacional:** Dado que muchas rutas aéreas cruzan fronteras internacionales, la coordinación entre distintos países es una característica fundamental del ATC. La OACI establece que la interoperabilidad entre los sistemas de control de tránsito aéreo es clave para garantizar operaciones seguras y eficientes en el espacio aéreo global (ICAO, 2018).

Capacitación y especialización del personal: El ATC requiere personal altamente capacitado, como los controladores de tránsito aéreo, quienes reciben formación intensiva en simuladores y programas de entrenamiento continuo. Según Air Traffic Control Training Manual de la OACI, la competencia técnica y la capacidad de tomar decisiones bajo presión son habilidades críticas para los controladores aéreos (ICAO, 2018).

### Componentes del Control de Tránsito Aéreo

El sistema de control de tránsito aéreo (ATC, por sus siglas en inglés) está diseñado para garantizar la seguridad, la eficiencia y el orden en la gestión del tráfico aéreo. Este sistema integra múltiples componentes que trabajan de manera sincronizada, utilizando tecnología avanzada y procesos operativos estandarizados. A continuación, se describen los principales componentes:

**Torres de control de aeródromos:** Son instalaciones críticas en el sistema de gestión del tránsito aéreo, responsables de supervisar y coordinar las operaciones dentro del área de maniobras del aeropuerto, incluyendo pistas, calles de rodaje y plataformas. Su función principal es garantizar la seguridad y eficiencia durante las fases de despegue, aterrizaje y movimiento en tierra de las aeronaves, utilizando sistemas de comunicación, radar y procedimientos estandarizados para evitar colisiones y minimizar riesgos operativos (De la Cruz & Mejía, 2018).

**Control de aproximación:** Es una unidad especializada dentro del sistema de gestión del tránsito aéreo (ATC) encargada de coordinar y gestionar el tráfico aéreo en la fase de aproximación terminal, que comprende el espacio aéreo en las cercanías de un aeródromo. Su función principal es guiar las aeronaves durante las maniobras de aproximación y salida, garantizando una separación segura entre ellas mediante el uso de radares, sistemas de vigilancia automática y comunicación directa con los pilotos (De la Cruz & Mejía, 2018).

**Control de área radar:** Es una función crítica dentro del sistema de Gestión del Tránsito Aéreo (ATC), encargada de supervisar y gestionar el movimiento seguro y eficiente de aeronaves en las rutas aéreas durante la fase de vuelo en crucero. Este componente opera en regiones de información de vuelo (FIR) definidas, utilizando radares de largo alcance, sistemas de vigilancia automática como ADS-B, y comunicaciones satelitales para monitorear continuamente las posiciones y trayectorias de las aeronaves (De la Cruz & Mejía, 2018).

## Tecnologías utilizadas en ATC

El Control de Tránsito Aéreo (ATC) depende en gran medida de tecnologías avanzadas para garantizar la seguridad, eficiencia y coordinación del tráfico aéreo a nivel global. Por lo cual las tecnologías utilizadas en ATC son las siguientes:

**Radar:** permite a los controladores aéreos seguir y gestionar el movimiento de las aeronaves en tiempo real. Los sistemas de radar primario y secundario son esenciales en este proceso. El radar primario detecta objetos en el espacio aéreo mediante la reflexión de señales electromagnéticas, mientras que el radar secundario, a través de la tecnología de transpondedores, proporciona información más detallada sobre la aeronave, como su identidad, altitud y velocidad (Müller y otros, 2020).

**ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast):** Es un sistema de vigilancia dependiente automática por radiodifusión. El ADS-B permite la transmisión en tiempo real de la posición de una aeronave, utilizando señales GPS para proporcionar información precisa sobre su ubicación, velocidad y rumbo. Este sistema no solo mejora la precisión del seguimiento, sino que también aumenta la capacidad de vigilancia en áreas donde los sistemas de radar tradicionales son limitados, como las regiones remotas o el espacio aéreo oceánico (Liu, Li, & Yang, 2020).

**Tecnología de comunicación:** juega un papel fundamental en el control del tráfico aéreo. Los sistemas de comunicación por radio, como la VHF (Very High Frequency) y HF (High Frequency), permiten la comunicación directa entre controladores aéreos y aeronaves. Las comunicaciones en tiempo real son cruciales para coordinar las operaciones y garantizar la seguridad en todas las fases del vuelo (Sundström, Johansson, & Bergström, 2019).

## Importancia de la Optimización de Procesos en el Control de Tránsito Aéreo

La optimización de procesos en el control de tránsito aéreo (ATC) se refiere a un enfoque integral y continuo para mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad en un entorno caracterizado por una alta demanda y una creciente complejidad. Este proceso implica la revisión sistemática de las operaciones, la implementación de tecnologías avanzadas, la mejora de los protocolos operativos y la capacitación constante de los profesionales del sector

Según la Organización de Aviación Civil Internacional ICAO (2021), la optimización de los procesos permite reducir significativamente los tiempos de espera, tanto en el aire como

en tierra, lo que resulta en una mayor eficiencia en la gestión del tráfico aéreo y en la mejora de la puntualidad de las aeronaves. Además, optimizar los procesos ayuda a aumentar la capacidad de los sistemas de navegación aérea, permitiendo un uso más eficiente del espacio aéreo y reduciendo los cuellos de botella en las rutas aéreas más congestionadas.

Una de las áreas más relevantes de la optimización de procesos es la mejora de la seguridad operacional. La OACI (2021) destaca que la gestión proactiva de los riesgos, basada en la recopilación y análisis de datos en tiempo real, es esencial para anticipar y mitigar posibles incidentes o accidentes. La implementación de sistemas de vigilancia avanzada, como el ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) y el radar de última generación, permite a los controladores aéreos monitorear el tráfico de manera más precisa, mejorando la toma de decisiones y reduciendo el riesgo de colisiones y otros eventos adversos.

Además de la mejora de la seguridad y la capacidad de navegación, la optimización de los procesos en el control de tránsito aéreo también involucra la modernización de los sistemas tecnológicos utilizados para gestionar las operaciones diarias. La actualización de los sistemas de comunicación, como el ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System), facilita el intercambio de información entre las aeronaves y los centros de control, lo que mejora la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante situaciones imprevistas. Los sistemas ATM (Air Traffic Management) permiten gestionar de manera más eficaz los flujos de tráfico, mediante la planificación dinámica de rutas y la asignación de espacios aéreos de manera más eficiente (Müller, Kowalski, & Böhm, 2020).

La optimización de procesos también se extiende a la capacitación continua de los controladores aéreos. En un entorno de trabajo dinámico y altamente regulado, es crucial que los profesionales del ATC estén actualizados sobre las mejores prácticas, las tecnologías emergentes y los procedimientos operativos estándar. El entrenamiento adecuado de los controladores no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también garantiza que se mantenga un nivel adecuado de seguridad durante las operaciones aéreas.

#### Importancia de la Optimización de Procesos

La optimización de procesos es un pilar fundamental para afrontar los desafíos del sector aeronáutico contemporáneo. Como subraya Martínez (2021), la constante mejora de los procesos en este ámbito no solo contribuye a la eficiencia operativa, sino que también tiene un impacto directo en la seguridad, la capacidad operativa y la sostenibilidad del sistema.

**Seguridad:** A través de la implementación de tecnologías avanzadas, como los sistemas de vigilancia aérea automáticos (ADS-B) y los sistemas de gestión de tráfico aéreo (ATM) de última generación, es posible mejorar la precisión en la supervisión de las aeronaves y anticipar

posibles riesgos. La automatización y el análisis en tiempo real de datos operacionales permiten tomar decisiones más informadas, minimizando el margen de error humano y reduciendo la probabilidad de incidentes.

**Capacidad Operativa:** Es otro aspecto crítico que se ve favorecido por la optimización de los procesos. El aumento de la demanda de servicios aéreos y la congestión del espacio aéreo global requieren sistemas que puedan gestionar un volumen cada vez mayor de aeronaves sin sacrificar la calidad del servicio. La mejora en la planificación de rutas aéreas, la integración de sistemas de control de tráfico más efectivos y la optimización de los procedimientos de aproximación y aterrizaje contribuyen a una mayor fluidez en las operaciones y a la reducción de los tiempos de espera, tanto en el aire como en tierra.

**Eficiencia en el uso de recursos:** La optimización de los procesos en el control de tránsito aéreo también juega un papel crucial. Al eliminar redundancias en los procedimientos operativos, optimizar el uso de la infraestructura existente y maximizar la capacidad del personal, se pueden reducir significativamente los costos operacionales. Esto permite que las entidades encargadas del control aéreo mantengan un servicio de alta calidad, a la vez que gestionan de manera eficiente los recursos humanos, técnicos y materiales disponibles.

**Adaptabilidad:** Es otra ventaja importante de la optimización de procesos. En un entorno globalizado y en constante cambio, la capacidad para integrar nuevas tecnologías y adaptarse a los estándares internacionales establecidos por organismos como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) es esencial.

**Sostenibilidad:** La eficiencia operativa no solo mejora los tiempos de tránsito y reduce los costos, sino que también permite disminuir las emisiones de carbono de las aeronaves al optimizar las rutas de vuelo, reducir el consumo de combustible y mejorar la gestión del tráfico aéreo, evitando la circulación innecesaria de aeronaves y contribuyendo a un menor impacto ambiental.

#### Estrategias de Optimización de Procesos

Rodríguez (2016) identifica una serie de estrategias fundamentales que pueden ser adaptadas para optimizar la gestión del control de tránsito aéreo, abordando de manera integral los desafíos operacionales y de seguridad. Entre las más relevantes se destacan:

**Digitalización de Operaciones:** La digitalización de procesos operacionales en el ámbito de la gestión del tránsito aéreo es una de las estrategias más efectivas para mejorar la eficiencia y precisión en la planificación y monitoreo de vuelos. La implementación de sistemas avanzados de gestión del tráfico aéreo (ATM) que incorporan tecnologías como la gestión

digital de rutas aéreas y la planificación de vuelos en tiempo real permite una mayor visibilidad de los movimientos de aeronaves y optimiza la toma de decisiones.

**Automatización:** La automatización, mediante el uso de algoritmos avanzados y herramientas de inteligencia artificial (IA), ha demostrado ser un recurso clave para optimizar la asignación de recursos y la coordinación de vuelos. La aplicación de la IA en la predicción de flujos de tráfico aéreo, la asignación dinámica de espacios aéreos y la gestión de llegadas y salidas facilita la optimización de rutas, reduciendo tiempos de espera y mejorando la puntualidad de las aeronaves.

**Gestión Basada en el Rendimiento (PBM):** Esta estrategia implica enfocar los esfuerzos en resultados específicos y medibles, tales como la puntualidad, la reducción de incidentes operativos y la mejora continua de los procesos. La implementación de indicadores clave de rendimiento (KPI) permite realizar un seguimiento detallado de la eficiencia operativa, identificar áreas de mejora y ajustar procedimientos según sea necesario.

**Análisis de Datos:** El uso de big data y analítica avanzada en el control del tránsito aéreo ha transformado la capacidad para prever y gestionar flujos de tráfico. El análisis de grandes volúmenes de datos recolectados en tiempo real permite identificar patrones de comportamiento, prever congestiones en los aeropuertos y ajustar las operaciones para mejorar la circulación del tráfico aéreo.

**Formación Continua:** Dada la constante evolución tecnológica en la aviación, la capacitación continua del personal es esencial para garantizar que los controladores aéreos y el personal de apoyo estén preparados para hacer frente a los retos del entorno dinámico del control de tránsito aéreo.

#### Impacto de la Optimización de Procesos en la Gestión de Control de Tránsito Aéreo

La implementación de estrategias de optimización en el control del tránsito aéreo conlleva una serie de beneficios significativos que impactan positivamente en la seguridad, eficiencia, y sostenibilidad operativa, los cuales son los siguientes:

**Mejora de la Seguridad Aérea:** La optimización de procesos contribuye de manera directa a la mejora de la seguridad operacional. La reducción de riesgos asociados a errores humanos es posible gracias a la integración de tecnologías avanzadas como los sistemas automatizados de monitoreo y control, que permiten una gestión más precisa y en tiempo real de las aeronaves.

**Incremento de la Capacidad:** Una de las principales ventajas de la optimización de procesos es la aptitud para manejar mayores volúmenes de tráfico aéreo sin comprometer la seguridad o la eficiencia de las operaciones. La implementación de sistemas de gestión de

tráfico aéreo (ATM) más avanzados, que utilizan tecnologías como ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), incrementa la visibilidad de las aeronaves en el espacio aéreo, lo que permite una gestión más eficiente de las rutas aéreas.

**Reducción de Costos:** La mejora de los procesos operacionales también facilita la reducción de los costos operativos a través de una administración más eficiente de los recursos humanos, técnicos y materiales. La implementación de tecnologías de vanguardia permite la eliminación de duplicidades y el aprovechamiento óptimo de los recursos, lo que conlleva a una reducción de los costos operativos.

**Cumplimiento Normativo:** La optimización de procedimientos no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también ayuda a las empresas de navegación aérea cumplir con los estándares internacionales y las mejores prácticas del sector.

**Sostenibilidad Ambiental:** Uno de los principales beneficios de la optimización en la gestión del tráfico aéreo es su impacto positivo en la sostenibilidad ambiental. Las mejoras en la administración del flujo de tráfico aéreo y la optimización de las rutas de vuelo contribuyen a un menor consumo de combustible, ya que las aeronaves pueden operar de manera más directa y eficiente (Rivera, 2022).

#### Integración con el Mantenimiento

La optimización de procesos y el mantenimiento son pilares complementarios en la gestión del tránsito aéreo. Integrar herramientas como el mantenimiento predictivo y el análisis de datos operativos permite no solo garantizar la funcionalidad de los sistemas, sino también mejorar su desempeño y eficiencia. Algunas estrategias clave incluyen:

**Implementación de Sistemas Basados en Condiciones (CBM):** Monitorizar parámetros críticos de los sistemas en tiempo real para activar intervenciones antes de fallos mayores.

**Automatización y Análisis Predictivo:** Uso de inteligencia artificial y algoritmos para predecir fallos y optimizar la programación del mantenimiento.

## Ciclo de Deming

El Ciclo de Deming (PDCA) e Integración con la Mejora Continua El Ciclo de Deming, también conocido como PDCA (Plan, Do, Check, Act), es un método de gestión de la calidad desarrollada por W. Edwards Deming cuyo propósito es fomentar la mejora continua en los procesos organizacionales. Este ciclo consta de cuatro fases esenciales:

### 1. Planificar (Plan):

En esta etapa, se determinan los objetivos y las estrategias necesarias para obtener resultados consistentes y alcanzar las metas establecidas. Sus principales aspectos incluyen:

- **Identificación de Objetivos:** Se establecen con claridad las metas a conseguir, como optimizar la calidad, disminuir costos, mejorar la eficiencia, etc.
- **Análisis de Problemas y Oportunidades:** Se identifican dificultades existentes, oportunidades de optimización y las posibles causas raíz.
- **Desarrollo de Planes de Acción:** Se diseñan los planes específicos para resolver los problemas detectados y cumplir los objetivos trazados.

### 2. Hacer (Do):

Tras la planificación, se procede la ejecución de las estrategias propuestas en la fase anterior, lo cual involucra:

- **Ejecución de las Actividades:** Se llevan a cabo las acciones planificadas, incluyendo la implementación de cambios en los procesos, la realización de mejoras y la aplicación de nuevas prácticas.
- **Recopilación de Datos:** Se recopilan datos claves que servirán para analizar la efectividad de las modificaciones realizadas.

### 3. Verificar (Check):

En esta etapa, se analizan los resultados obtenidos comparándolos con los estándares y metas establecidas en la etapa de planificación. Esto incluye:

- **Análisis de Resultados:** Se evalúan los datos recopilados para determinar si los objetivos se han cumplido y si se han generado mejoras en los procesos.
- **Comparación con Objetivos:** Se compara el desempeño real con los estándares y metas establecidos durante la planificación.
- **Identificación de Desviaciones:** Se identifican las desviaciones o brechas entre el desempeño actual y el esperado, así como las áreas que requieren atención adicional.

#### 4. Actuar (Act):

Basado en los resultados obtenidos en la etapa de verificación, se toman acciones correctivas o preventivas para mejorar continuamente los procesos. Esto implica:

- Implementación de Mejoras: Se implementan acciones correctivas para abordar las desviaciones identificadas y mejorar el desempeño de los procesos.
- Revisión de Planes: Se revisan y ajustan los planes de acción en función de los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas durante el ciclo.
- Establecimiento de Nuevos Objetivos: Se establecen nuevos objetivos y metas basados en las mejoras realizadas, iniciando así un nuevo ciclo de mejora continua.
- El PDCA es un elemento fundamental en la filosofía de mejora continua, fomentando la participación de todos los niveles organizativos, desde la alta dirección hasta los equipos operativos. Su implementación efectiva requiere herramientas de calidad como diagramas de flujo y gráficos de control, además de una cultura organizacional orientada a la resolución de problemas y la comunicación abierta. Integrado en el contexto organizacional, el Ciclo de Deming no solo corrige ineficiencias en los procesos de mantenimiento y operación, sino que también mejora la eficiencia, la calidad y la satisfacción del cliente mediante un enfoque iterativo y sistemático de optimización continua.

### 3.3. Análisis de la problemática

De acuerdo con la descripción de la realidad planteada en el numeral 3.1 de este documento, las causas principales que originan las ineficiencias en los procesos de gestión del tránsito aéreo en la empresa son las siguientes:

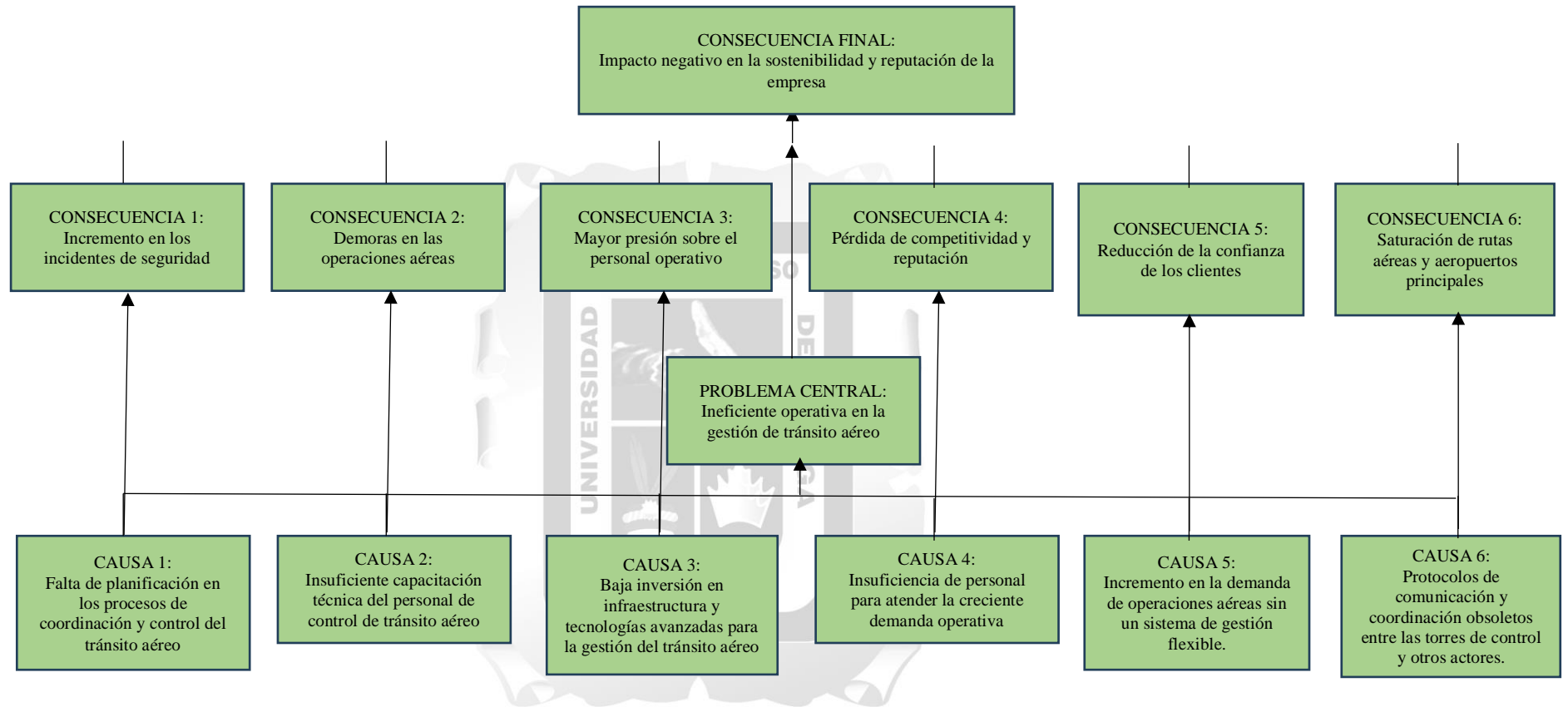
**Tabla 1. Causas de las ineficiencias en la gestión del tránsito aéreo.**

<b>Ítems</b>	<b>Causas</b>
<b>C01</b>	Falta de planificación en los procesos de coordinación y control del tránsito aéreo.
<b>C02</b>	Insuficiente capacitación técnica del personal de control de tránsito aéreo.
<b>C03</b>	Baja inversión en infraestructura y tecnologías avanzadas para la gestión de tránsito aéreo.
<b>C04</b>	Insuficiencia de personal para atender la creciente demanda operativa
<b>C05</b>	Incremento en la demanda de operaciones aéreas sin un sistema de gestión flexible.
<b>C06</b>	Protocolos de comunicación y coordinación obsoletos entre las torres de control y otros actores.

La tabla N° 1 identifica las 6 causas principales que generan ineficiencias operativas en la gestión del tránsito aéreo en la empresa.

Con la información proporcionada se confeccionó el árbol del problema que se presenta en la figura N° 3.

**Figura 3. Árbol del problema.**



En la Figura N° 3 se evidencia que el problema central radica en la ineficiencia operativa en la gestión de tránsito aéreo

## Análisis del árbol del problema

Problema central: Ineficiencia operativa en la gestión de tránsito aéreo.

Este problema se manifiesta como demoras en los servicios aéreos, mayor riesgo de incidentes por falta de coordinación y un impacto negativo en la reputación de la empresa como proveedor de servicios de navegación aérea confiables. A continuación, se detallan las principales causas:

### Causas

- Falta de planificación en los procesos de coordinación y control del tránsito aéreo:  
La inexistencia de un plan de gestión integrado afecta la capacidad de anticipar problemas y optimizar los recursos disponibles. Esto genera sobrecarga en el personal operativo y disminuye la capacidad de respuesta ante contingencias.
- Insuficiente capacitación técnica del personal del control de tránsito aéreo:  
La falta de actualización y especialización del personal de control en tecnologías y protocolos modernos compromete la efectividad de las decisiones en tiempo real, aumentando los riesgos operativos.
- Baja inversión en infraestructura y tecnologías avanzadas para la gestión del tránsito aéreo:  
La ausencia de herramientas modernas, como sistemas de gestión de tráfico aéreo (ATM) avanzados, reduce la capacidad de monitoreo y control, incrementando la probabilidad de errores humanos y retrasos.
- Insuficiencia de personal para atender la creciente demanda operativa:  
La falta de personal suficiente para cubrir las necesidades operativas genera una sobrecarga laboral, lo que deriva en demoras, mayor estrés en los controladores y una menor capacidad de respuesta ante emergencias.
- Incremento en la demanda de operaciones aéreas sin un sistema de gestión flexible:  
El aumento constante del tráfico aéreo no ha sido acompañado de una modernización en los sistemas de gestión, lo que provoca congestión y baja capacidad de adaptación ante situaciones críticas.

- **Protocolos de comunicación obsoletos entre las torres de control y otros actores:**  
El uso de sistemas de comunicación tradicionales limita la fluidez y precisión en la transmisión de información, afectando tanto la seguridad como la eficiencia operacional.  
Consecuencias
- **Incremento en los incidentes de seguridad:**  
El riesgo de conflictos entre aeronaves aumenta debido a la falta de sincronización en el flujo de información entre controladores, pilotos y otras unidades.
- **Demoras en las operaciones aéreas:**  
La ineficiencia en los procesos causa acumulación de vuelos en espera, retrasos prolongados y descontento en los usuarios finales.
- **Mayor presión sobre el personal operativo:**  
La falta de recursos adecuados genera fatiga y estrés en los controladores, impactando negativamente en la calidad de las operaciones.
- **Pérdida de competitividad y reputación:**  
Un servicio ineficiente y percibido como inseguro afecta la imagen de la empresa frente a aerolíneas y pasajeros.
- **Reducción de la confianza de los clientes:**  
Los usuarios, tanto aerolíneas como pasajeros, perciben el sistema de navegación aérea, como poco confiable lo que genera insatisfacción y una menor preferencia por los servicios ofrecidos. A largo plazo esta falta de confianza podría provocar una reducción en la cantidad de vuelos operados y en la fidelización de clientes corporativos.
- **Saturación de rutas aéreas y aeropuertos principales:**  
El aumento de tráfico aéreo sin una adecuada modernización de la infraestructura y los sistemas de gestión genera congestión en las principales rutas aéreas y aeropuertos. Estos se traducen en demoras constantes, un mayor consumo de combustible debido a patrones de espera en el aire y una disminución en la capacidad operativa de la red de navegación aérea.

### Consecuencia final

Deterioro de la seguridad operacional y la reputación de la empresa

La combinación de ineficiencias operativas, incidentes de seguridad operacional y retrasos constantes en las operaciones aéreas impacta de forma directa en la sostenibilidad y credibilidad de la empresa. Las principales repercusiones incluyen:

- Pérdida de confianza de las aerolíneas:  
Las aerolíneas pueden optar por reducir su volumen de operaciones o buscar alternativas más confiables debido a la percepción de riesgos para la seguridad y eficiencia de sus vuelos. Esto afecta los ingresos generados por tarifas aeronáuticas y debilita las relaciones estratégicas con los operadores aéreos.
- Impacto en la competitividad:  
La reducción de la eficiencia operativa y las deficiencias en la seguridad impactan negativamente en la posición competitiva de la empresa frente a otros proveedores de servicios de navegación aérea en la región, limitando su capacidad para captar nuevas oportunidades de negocio.
- Incremento en la presión regulatoria:  
Los organismos internacionales y nacionales, como la OACI y la DGAC, pueden intensificar las auditorías, inspecciones y sanciones debido al incumplimiento de estándares de seguridad operacional. Estas acciones generan un aumento de los costos operativos y reducen la flexibilidad operativa de la empresa.
- Costos adicionales para restaurar la confianza y la seguridad:  
El deterioro de la seguridad operacional y de la reputación exige inversiones significativas para modernizar las infraestructuras tecnológicas, mejorar la capacitación del personal, implementar medidas correctivas y desarrollar estrategias para recuperar la confianza de los usuarios y reguladores.
- Deterioro de la imagen institucional:  
El impacto prolongado de las deficiencias en la seguridad y la eficiencia puede erosionar la percepción pública de la empresa, afectando su capacidad para atraer nuevas inversiones, mantener contratos clave y generar confianza en el sector. Esto podría derivar en una disminución de

oportunidades de crecimiento y en restricciones adicionales impuestas por organismos reguladores.

#### Priorización de causas

La priorización de causas por juicio experto es una metodología ampliamente utilizada para identificar y clasificar las causas principales de un problema en función de su impacto en la problemática central. En el caso de la optimización de procesos en la gestión de tránsito aéreo en la empresa, se recurrió a un enfoque colaborativo con la participación de especialistas con amplia experiencia en navegación aérea y operaciones aeroportuarias. A continuación, se detalla el proceso:

**Selección de expertos:** Se convocó a un panel de cuatro expertos de la empresa, seleccionados por su experiencia en áreas críticas como operaciones de tránsito aéreo, gestión de sistemas de navegación, seguridad operativa y análisis de procesos. Los expertos tienen conocimientos profundos sobre las operaciones de la empresa y están familiarizados con las complejidades asociadas al control del tránsito aéreo, incluidos los desafíos técnicos y operativos.

**Análisis de datos:** A los expertos se les proporcionó una lista detallada de las causas identificadas, junto con datos relevantes que incluyeron estadísticas de incidentes, análisis de procesos actuales y descripciones de los sistemas utilizados.

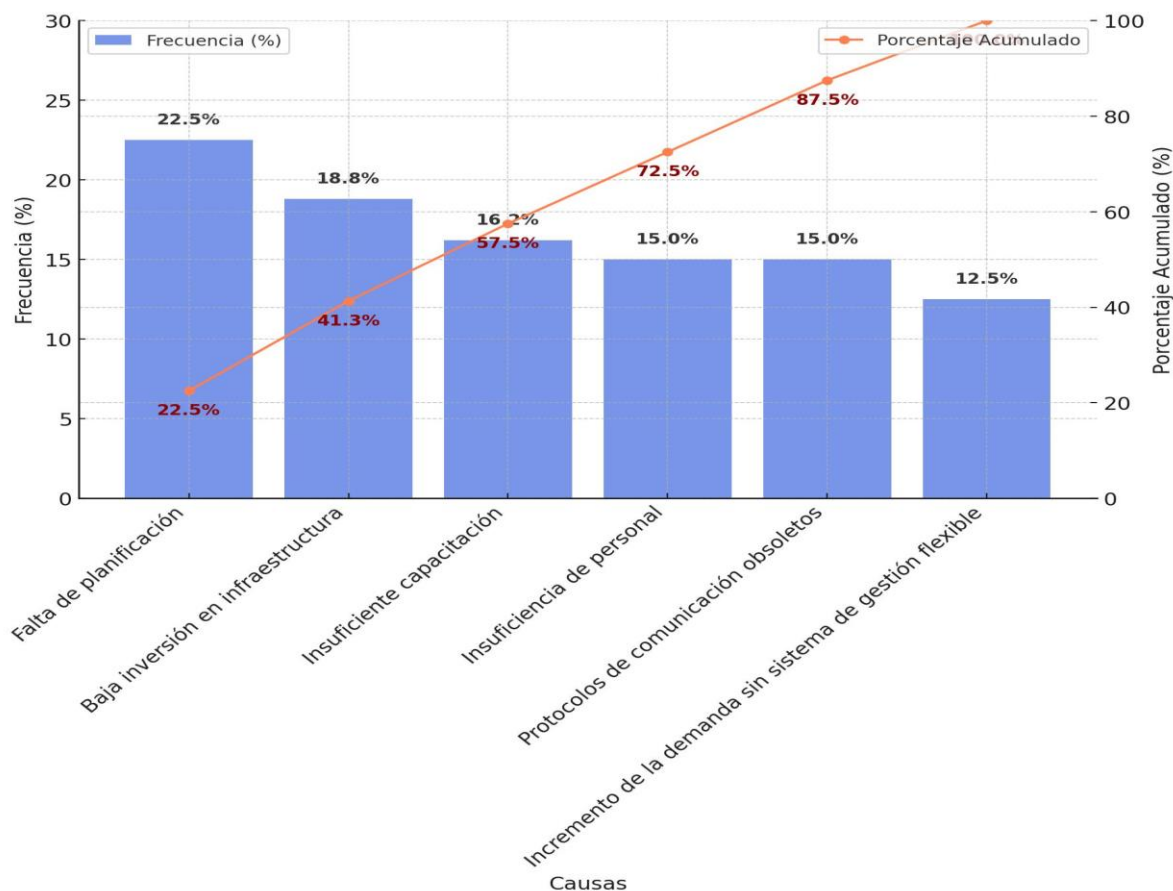
**Evaluación y ponderación de causas:** Cada causa fue evaluada según su relevancia y grado de influencia en la eficiencia operativa y la seguridad de las operaciones. Para esta evaluación, se consideraron diversos factores, como el impacto directo en la seguridad operacional, la eficacia de los sistemas existentes, y la capacidad de resolución de los problemas asociados.

**Asignación de puntuaciones:** Los expertos asignaron puntuaciones a cada causa en función de su gravedad e impacto en la eficiencia operativa y la seguridad de operaciones.

**Tabla 2. Priorización de causas.**

Causas	Gerente de Operaciones	Gerencia de Tecnología	Gerente de Seguridad Operacional	Controlador de Tránsito Aéreo	Sumatoria	Porc. Frec.	Porc. Acum.
Falta de planificación en los procesos de coordinación y control de tránsito aéreo	5	5	4	4	18	22.5%	22.5%
Baja inversión en infraestructura y tecnologías avanzadas para la gestión del tránsito aéreo	4	4	4	3	15	18.8%	41.3%
Insuficiente capacitación técnica del personal de control de tránsito aéreo	4	3	3	3	13	16.2%	57.5%
Insuficiencia de personal para atender la creciente demanda operativa	3	3	3	3	12	15.0%	72.5%
Protocolos de comunicación y coordinación obsoletos entre las torres de control y otros actores	3	3	3	3	12	15.0%	87.5%
Incremento a la demanda de operaciones aéreas sin un sistema de gestión flexible	3	2	3	2	10	12.5%	100%

En la tabla N° 2 se presenta las 6 causas debidamente priorizadas. Se aprecia que se convocó a 4 expertos.

**Figura 4.** Diagrama de Pareto de las causas

La Figura N°4 presenta las causas principales según el análisis del Diagrama de Pareto aplicado a la gestión del tránsito aéreo. Este análisis evidencia que las principales causas que concentran el 87.5% de la problemática son: la falta de planificación en los procesos de coordinación y control de tránsito aéreo, la baja inversión en infraestructura y tecnologías avanzadas, la insuficiente capacitación del personal, la insuficiencia de personal operativo y los protocolos de comunicación y coordinación obsoletos entre las torres de control y otros actores.

Estos hallazgos subrayan la criticidad de la falta de planificación estratégica, la carencia de infraestructura tecnológica moderna, las deficiencias en la capacitación y el impacto negativo de una comunicación ineficiente en la seguridad y eficiencia operativa. Por consiguiente, resulta imperativo diseñar un plan integral de mejora que contemple el desarrollo de estrategias de planificación efectivas, la modernización tecnológica, la implementación de programas de capacitación continua y la optimización de los recursos operativos para garantizar una gestión del tránsito aéreo más eficiente y segura.

**CAPITULO IV: PRINCIPALES CONTRIBUCIONES**



#### **4.1. Descripción de alternativas de solución**

##### **Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM)**

La modernización de infraestructura y sistemas de gestión de tránsito aéreo (ATM) es una estrategia integral que busca optimizar la gestión operativa mediante la actualización de centros de control con tecnología avanzada y condiciones ergonómicas que mejoren la productividad y reduzcan la fatiga del personal. Incluye la implementación de sistemas de vigilancia de última generación, como el ADS-B y radares de alta precisión, para un monitoreo en tiempo real del espacio aéreo, así como software especializado para la planificación y gestión eficiente del tráfico. Además, mejora los sistemas de comunicación con canales redundantes y confiables, minimizando riesgos técnicos y asegurando una coordinación fluida entre dependencias. Esta solución aborda la obsolescencia tecnológica, mejora la integración operativa y garantiza mayor seguridad, eficiencia y sostenibilidad en las operaciones aéreas, adaptándose al crecimiento del sector en Perú y cumpliendo con estándares internacionales.

##### **Capacitación Continua y Simulación Práctica**

La capacitación continua y simulación práctica para el personal de control de tránsito aéreo combina un enfoque integral que incluye formación técnica, habilidades blandas y herramientas avanzadas de simulación. Los programas de capacitación abarcan actualizaciones sobre estándares operativos, gestión de riesgos y manejo de situaciones críticas, mientras que el uso de simuladores avanzados permite replicar escenarios reales para fortalecer la toma de decisiones en condiciones complejas. Además, se integran certificaciones periódicas y análisis predictivos mediante simulaciones para identificar y resolver conflictos operativos en tiempo real, asegurando una mejora continua en el desempeño del personal. Esta solución, de bajo costo y rápida implementación, garantiza que los controladores estén preparados para enfrentar los desafíos operativos, optimizando la gestión del tráfico aéreo en el contexto de la creciente demanda en Perú.

##### **Gestión Basada en Procesos (BPM)**

La gestión basada en procesos (BPM) se centra en el análisis, rediseño y automatización de flujos operativos para mejorar la coordinación entre áreas y optimizar el desempeño en la gestión del tránsito aéreo. Este enfoque incluye la aplicación de

metodologías como Lean y Six Sigma para eliminar cuellos de botella y aumentar la eficiencia en las operaciones. Asimismo, se busca estandarizar y simplificar procedimientos de coordinación entre torres de control y centros de operaciones, asegurando una mejor integración y comunicación. Como parte de esta estrategia, también se rediseñan turnos y tareas del personal para reducir la fatiga y mejorar su rendimiento. En el contexto peruano, BPM representa una solución estratégica que no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también asegura un uso óptimo de los recursos disponibles, contribuyendo a una gestión más ágil y efectiva del tránsito aéreo.

#### Implementación de Algoritmos de Gestión de Tráfico Basados en IA

Esta alternativa utiliza inteligencia artificial para optimizar el flujo de tráfico aéreo en tiempo real, reduciendo la saturación en horas pico y mejorando la toma de decisiones. Los algoritmos analizan grandes cantidades de datos históricos y en tiempo real, lo que permite anticipar y gestionar congestiones de manera proactiva. En Perú, esta solución es altamente prometedora, ya que combina innovación tecnológica con un enfoque práctico para maximizar la capacidad de la infraestructura existente.

#### **4.2. Evaluación de alternativas de solución.**

A continuación, se detalla la evaluación de las alternativas planteadas, organizadas en fases y criterios claves de cada alternativa de solución:

##### Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM)

###### 1. Planificación de la Implementación

**Evaluación inicial:** Realizar un diagnóstico detallado de la infraestructura y sistemas actuales para identificar las brechas tecnológicas y operativas. Este análisis incluiría una auditoría de los equipos, sistemas de gestión del tránsito aéreo y procesos de comunicación, además de una consulta con los operadores para conocer sus necesidades.

**Diseño del proyecto:** Definir objetivos específicos, cronogramas, presupuesto y los recursos necesarios. Se identificarán las tecnologías que cumplen con los estándares internacionales, como radares de alta precisión, ADS-B y software de planificación.

## 2. Implementación de la Modernización

**Adquisición de tecnología:** Contratar proveedores certificados para el suministro de equipos modernos, como sistemas de vigilancia y radares avanzados. Seleccione plataformas de software integradas que permitan la automatización y un mejor manejo de datos en tiempo real.

**Actualización de infraestructura física:** Mejorar las condiciones de los centros de control, incluyendo aspectos ergonómicos, estaciones de trabajo modernas y salas de operaciones con tecnología integrada.

**Capacitación del personal:** Antes de la puesta en marcha, los operadores recibirán formación sobre el uso de los nuevos sistemas, asegurando una transición fluida hacia la tecnología modernizada.

## 3. Rendimiento total del sistema requerido

- Seguridad operacional
- regularidad
- eficiencia
- certificación y garantía de calidad

## 4. Evaluación del proceso

**Indicadores clave de desempeño (KPIs):** Monitorear métricas como la reducción de retrasos, mejoras en la capacidad operativa, disminución de incidentes y satisfacción del personal.

**Revisión técnica periódica:** Realizar auditorías para asegurar que los sistemas y equipos estén funcionando correctamente.

**Retroalimentación del personal:** Incorporar las observaciones de los controladores y operadores para identificar áreas de mejora o necesidades adicionales.

## 5. Mantenimiento y actualización continua

**Plan de mantenimiento preventivo:** Establecer cronogramas regulares para el mantenimiento de los sistemas y equipos, evitando fallos críticos.

Adaptación a nuevas tecnologías: Incluir un componente flexible para incorporar nuevas innovaciones, manteniendo la infraestructura alineada con los estándares internacionales.

#### Implementación de Algoritmos de Gestión de Tráfico Basados en IA

Para la implementación de esta solución se requiere un análisis del sistema actual, identificando los principales desafíos operativos en la gestión del tráfico aéreo, como saturación en horas pico, coordinación entre controladores y previsión de tráfico.

#### Diseño e Integración de la Solución

- Desarrollo de modelos predictivos
- Implementar los algoritmos dentro de los sistemas existentes de gestión del tráfico aéreo (ATM)
- Diseñar interfaces para que los operadores puedan interpretar fácilmente las predicciones y recomendaciones generadas por la IA.

La implementación también requiere de la capacitación del personal sobre el uso de herramientas basadas en IA, enfocándose en cómo interpretar las sugerencias y cómo interactuar con los sistemas.

#### Evaluación y Mejora Continua

- Indicadores clave de desempeño (KPIs): Monitorear métricas como precisión de predicciones, tiempo de respuesta, reducción de retrasos y conflictos prevenidos.
- Actualización de algoritmos: Alimentar los modelos con nuevos datos para que la IA aprenda y se adapte a patrones de tráfico cambiantes.
- Auditorías regulares: Revisar el impacto de los algoritmos en la eficiencia y seguridad del tránsito aéreo, asegurando que se mantengan alineados con los objetivos estratégicos.

#### Capacitación Continua y Simulación Práctica para el personal de Control de Tránsito Aéreo

Para realizar las capacitaciones del personal se tienen diferentes requisitos como:

- Una infraestructura con simuladores avanzados con el equipo adecuado

- Profesionales con experiencia en control de tránsito aéreo y en el uso de simuladores avanzados, capaces de diseñar y dirigir los programas de formación teórica y práctica.
- Equipos técnicos especializados para mantener y actualizar los simuladores

#### Plan de Capacitación

Contenido formativo: El programa debe incluir módulos de capacitación sobre gestión del tráfico aéreo, manejo de emergencias, procedimientos operacionales y uso de nuevas tecnologías. Además, los controladores deben ser entrenados en habilidades blandas, como comunicación efectiva y toma de decisiones en situaciones críticas.

Prácticas de simulaciones: Las simulaciones deben adaptarse a distintos niveles de dificultad, pasando con situaciones comunes y avanzando hacia escenarios más complejos. Los simuladores deben permitir la réplica de emergencias o fallas en el sistema para preparar a los controladores ante cualquier eventualidad.

Certificación periódica: Se deben establecer criterios claros de evaluación y certificación para los controladores, con pruebas prácticas y teóricas que validen su nivel de competencia. Además, las certificaciones deben ser renovadas periódicamente para garantizar la actualización constante.

#### Gestión Basada en Procesos (BPM)

El objetivo principal de BPM en la gestión del tránsito aéreo es optimizar los procesos operativos, mejorar la eficiencia, reducir los errores y garantizar una mejor coordinación entre las diferentes partes involucradas en el control aéreo.

Para adoptar esta solución es necesario:

Software de BPM: Herramientas especializadas para modelar, automatizar y monitorear los procesos operativos de tránsito aéreo.

Automatización de procesos: Implementación de tecnologías que automatizan tareas repetitivas o complejas, como la asignación de rutas y la coordinación entre torres de control.

Capacitación del personal: Formación constante en el uso de nuevas herramientas y en la adaptación a los nuevos procesos estandarizados.

Etapas de la implementación:

- Análisis de Procesos Actuales
- Rediseño de procesos
- Desarrollo e Implementación de Software
- Pruebas y Validación
- Despliegue Total

Una vez realizada la presentación de cada alternativa de solución, es necesario hacer un análisis comparativo de cada alternativa en base a diferentes criterios cualitativos, con el fin de determinar cuál es la mejor solución para la problemática encontrada.

**Tabla 3.** Criterios de evaluación de alternativas de solución

N°	Criterio	Peso
1	Alineamiento con los objetivos	20%
2	Facilidad de implementación	15%
3	Tiempo de desarrollo	15%
4	Orientación del problema principal	20%
5	Costo de implementación	10%
6	Posibilidad de éxito	20%

Elaboración propia

En la tabla N° 3 se presentan los criterios considerados para determinar la mejor alternativa de solución o más conveniente con sus respectivos pesos, con las cuales se realizará un análisis cualitativo.

**Tabla 4.** Matriz de comparación de alternativas

N°	Criterio	Peso	Implementación de Algoritmos de Gestión de Tráfico Basados en IA		Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM)		Capacitación Continua y Simulación Práctica para el personal de Control de Tránsito Aéreo		Gestión Basada en Procesos (BPM)	
			Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor
			1	Alineamiento con los objetivos	20%	2	0.4	2	0.4	1
2	Facilidad de implementación	15%	2	0.3	2	0.3	2	0.3	1	0.15
3	Tiempo de desarrollo	15%	4	0.6	3	0.45	1	0.15	1	0.15
4	Orientación del problema principal	20%	1	0.2	3	0.6	1	0.2	1	0.2
5	Costo de implementación	10%	2	0.2	1	0.1	2	0.2	2	0.2
6	Posibilidad de éxito	20%	1	0.2	2	0.4	1	0.2	1	0.2
Totales		100%	12	1.9	13	2.25	8	1.25	7	1.2
Alternativa recomendada			2		1		3		4	

Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 4, se aprecia que la alternativa de solución más conveniente es la “Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM)”

### **4.3. Implementación de alternativa seleccionada actividades y procedimientos**

La creciente demanda de operaciones aéreas y la necesidad de garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del tránsito aéreo exigen soluciones integrales. La modernización de la infraestructura y los sistemas de gestión del tránsito aéreo (ATM, por sus siglas en inglés) es una estrategia clave para optimizar los procesos de control y garantizar un servicio de alta calidad. Este plan tiene como objetivo principal transformar los sistemas actuales en una plataforma moderna, integrada y tecnológicamente avanzada, respondiendo a los desafíos operativos y al crecimiento proyectado del sector.

#### **Diagnóstico Inicial**

El diagnóstico inicial constituye el primer paso crítico en la modernización de la infraestructura y sistemas de gestión del tránsito aéreo. Este proceso se centra en la evaluación exhaustiva de las condiciones actuales, con el objetivo de identificar las principales limitaciones y oportunidades de mejora. A continuación, se presentan las actividades detalladas que componen esta fase:

Evaluación de los sistemas de navegación y control actuales: Se realizará un análisis minucioso de los sistemas de radares, comunicaciones y software utilizados en las torres de control y estaciones de monitoreo. Este paso incluirá una revisión del estado técnico de los equipos y su capacidad para atender la demanda actual y futura.

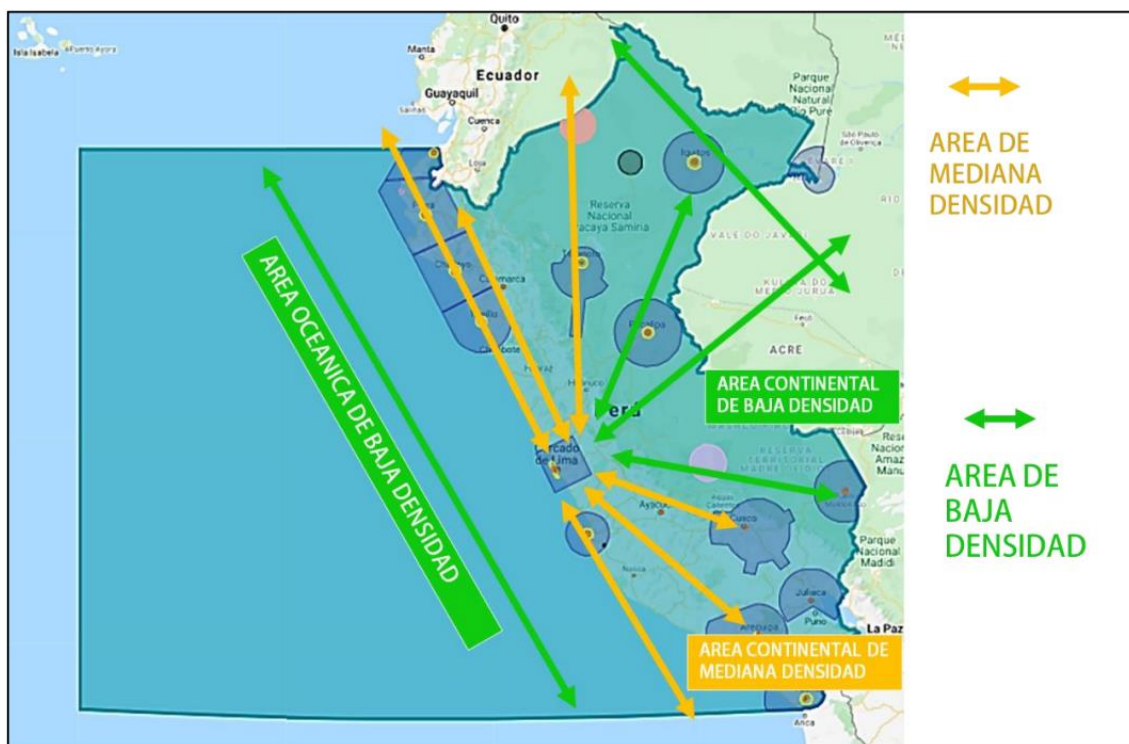
- Identificación de tecnologías obsoletas que afectan la eficiencia operativa.
- Evaluación de la integración entre sistemas de navegación y control.

Identificación de áreas críticas y cuellos de botella: El tránsito aéreo enfrenta diversos problemas operativos, como la saturación de tráfico en horas pico. Durante esta etapa, se analizará el flujo de operaciones para determinar los puntos de mayor congestión.

- Medición del volumen de tráfico en horarios de alta demanda.

- Revisión de los tiempos de respuesta en las operaciones de control.

**Figura 5.** Principales flujos de tránsito



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020)

En la figura N° 5 se muestra los flujos de tránsito aéreo que muestran cuales con las zonas con mayor densidad y menor densidad.

Análisis de las capacidades tecnológicas y técnicas del personal: La eficiencia de los sistemas de gestión del tránsito también depende del nivel de formación y competencia del personal. Por ello, se realizará:

- Un levantamiento de datos sobre la capacitación recibida por el personal de control.
- Una evaluación de las habilidades actuales frente a las demandas tecnológicas.

Revisión de protocolos de comunicación y coordinación: Los protocolos de comunicación entre las torres de control y otros actores, como aerolíneas y autoridades de aviación, serán evaluados para identificar ineficiencias o desactualizaciones.

- Determinación de retrasos o errores frecuentes en la comunicación.
- Propuesta de mejoras en los canales y protocolos utilizados.

### Diseño del Plan de Modernización

Constituye una fase estratégica que considera los pasos necesarios para modernizar de manera efectiva los sistemas de gestión del tránsito aéreo. Este plan se centra en resolver las deficiencias identificadas en el diagnóstico inicial y establecer un marco integral que abarque tecnología, infraestructura, personal y protocolos operativos.

**Figura 6.** Proceso de planificación



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020)

En la figura N° 6 se presentan los pasos recomendados en el proceso de planificación recomendado por la OACI para la elaboración de los planes nacionales

En primer lugar, se procederá con la integración de sistemas tecnológicos avanzados, lo que implica el diseño y la implementación de una arquitectura que conecte de manera eficiente los sistemas de navegación, control y monitoreo. Se priorizará la adquisición de equipos automatizados que permitan gestionar el tráfico aéreo en tiempo real, garantizando la detección y seguimiento preciso de aeronaves. Además, se

implementarán sistemas de redundancia que aseguren la continuidad operativa incluso ante posibles fallas.

El siguiente paso será la modernización de la infraestructura física. Esto incluirá la renovación de las torres de control y estaciones de monitoreo más antiguas o en condiciones críticas. Estas instalaciones serán equipadas con radares de última generación, capaces de operar en condiciones de alta demanda y mejorar la precisión de las operaciones. Asimismo, se ampliará la cobertura de estaciones remotas, especialmente en zonas con alta densidad de tráfico aéreo.

En paralelo, el plan abordará la capacitación y fortalecimiento del personal. Se desarrollarán programas de formación intensiva para garantizar que los controladores de tránsito aéreo y el personal técnico estén preparados para manejar las nuevas tecnologías. Los entrenamientos incluirán tanto teoría como práctica, utilizando simuladores avanzados que reproduzcan escenarios reales. Además, se implementará un sistema de certificación continua que fomente la actualización periódica de conocimientos.

La dotación de personal también será una prioridad, llevando a cabo procesos de selección rigurosos para contratar a más controladores y técnicos especializados. También se diseñarán incentivos para retener al personal clave y reducir la rotación, lo que contribuirá a la estabilidad operativa.

En cuanto a los protocolos de comunicación, se diseñarán nuevos procedimientos que incorporen herramientas digitales y sistemas automatizados para mejorar la coordinación entre las torres de control, aerolíneas y otras entidades relevantes. Estos protocolos incluirán medidas para evitar interrupciones en la comunicación, como canales redundantes y capacitaciones especializadas en comunicación efectiva e interinstitucional.

Finalmente, se desarrollará un plan de financiamiento y cronograma detallado. Cada actividad será cuantificada en términos de costos estimados, estableciendo prioridades basadas en recursos disponibles y urgencia. El cronograma incluirá hitos específicos, así como puntos de evaluación periódica para asegurar que el proyecto avance según lo previsto. Este enfoque integral y planificado garantizará que la modernización sea sostenible y genere beneficios significativos a largo plazo.

## Ejecución

**Adquisición e instalación de sistemas tecnológicos:** En una primera fase, se procederá con la adquisición e instalación de los sistemas tecnológicos identificados como prioritarios. Los equipos avanzados, tales como radares de última generación, sistemas de comunicación digital y plataformas de gestión automatizada, serán implementados gradualmente para minimizar interrupciones en las operaciones. Este paso incluirá pruebas piloto en zonas específicas, permitiendo identificar y resolver cualquier problema antes de su despliegue completo.

**Renovación de la infraestructura física:** Paralelamente, se iniciará la renovación de la infraestructura física, priorizando aquellas instalaciones que presenten mayores deficiencias. Las torres de control y estaciones remotas serán equipadas con tecnologías modernas y diseñadas para soportar el incremento de la demanda operativa. Este proceso se realizará en fases cuidadosamente planificadas, asegurando la continuidad del servicio mientras se llevan a cabo las obras.

**Capacitación y supervisión del personal:** En cuanto al fortalecimiento del personal, se pondrán en marcha los programas de capacitación previstos en el diseño del plan. Los cursos de formación serán impartidos por expertos en gestión de tránsito aéreo y tecnologías avanzadas, garantizando que el personal adquiera las competencias necesarias para operar los nuevos sistemas. Además, se realizará una supervisión continua del desempeño, con retroalimentación constante para identificar áreas de mejora.

**Implementación de protocolos de comunicación:** Un aspecto clave de la ejecución será la implementación de los nuevos protocolos de comunicación. Las herramientas digitales y los canales redundantes serán puestos en funcionamiento, y se realizarán simulaciones para probar su eficacia en condiciones reales. Estas simulaciones incluirán ejercicios de coordinación entre torres de control y otros actores clave, asegurando una transición fluida a los nuevos procedimientos.

**Monitoreo y evaluación continua:** Finalmente, se establecerá un sistema de monitoreo y evaluación continua durante toda la fase de ejecución. Este sistema permitirá medir el avance del proyecto en términos de plazos, costos y resultados, asegurando que se cumplan los objetivos definidos. Se realizarán informes periódicos para documentar los progresos y tomar decisiones informadas ante cualquier desviación del plan inicial.

## Seguimiento y Evaluación

El seguimiento y evaluación de la solución planteada será un componente esencial para garantizar la sostenibilidad y efectividad de la modernización de los sistemas de gestión del tránsito aéreo. Esta fase se llevará a cabo mediante un enfoque estructurado que abarque tanto la evaluación técnica como operativa. Los pasos principales son los siguientes:

**Establecimiento de indicadores clave de desempeño (KPIs):** Se definirán métricas específicas para medir el impacto y el éxito de la modernización, como:

- Tiempo promedio de respuesta en las operaciones de control.
- Reducción de incidentes relacionados con fallos en la comunicación.
- Porcentaje de utilización de las nuevas tecnologías instaladas.
- Nivel de satisfacción del personal capacitado y de los usuarios del sistema.

**Monitoreo periódico del desempeño:** Se establecerá un sistema de monitoreo continuo que permita recopilar y analizar datos en tiempo real. Esto incluirá:

- Revisiones trimestrales para evaluar el estado de los sistemas tecnológicos y su funcionalidad.
- Inspecciones físicas de la infraestructura renovada.
- Encuestas regulares al personal para identificar áreas de mejora en la capacitación y en los procesos operativos.

**Auditorías técnicas y operativas:** Se realizarán auditorías semestrales para verificar que todos los sistemas y procesos estén funcionando de acuerdo con los estándares establecidos. Estas auditorías incluirán:

- Revisión de los protocolos de comunicación.
- Evaluación de la interoperabilidad entre los diferentes sistemas tecnológicos implementados.

**Evaluación del impacto económico y operativo:** Además de la evaluación técnica, se analizará el impacto económico y operativo de la modernización, incluyendo:

- Comparación de los costos operativos antes y después de la implementación.

- Análisis del aumento en la capacidad operativa durante los períodos de mayor demanda.
- Identificación de beneficios financieros a largo plazo, como la reducción de gastos por mantenimiento y fallos.

Generación de informes y retroalimentación: Los resultados obtenidos del monitoreo y las auditorías serán documentados en informes periódicos que incluirán recomendaciones específicas para ajustes o mejoras. Estos informes se compartirán con los tomadores de decisiones y se utilizarán como base para planes futuros de mantenimiento y mejora.

Mecanismos de retroalimentación constante: Se habilitarán canales de comunicación para que el personal operativo y otros actores clave puedan reportar problemas, sugerir mejoras o destacar buenas prácticas. Esto permitirá un ciclo continuo de mejora que garantice la adaptabilidad del sistema a nuevas necesidades.

#### Identificación de las Actividades Críticas que Afectan la Eficiencia y la Seguridad Operacional

La identificación de las actividades críticas es fundamental para priorizar los esfuerzos de mejora y garantizar que las soluciones implementadas impacten de manera efectiva en la gestión del tránsito aéreo. Esta etapa implica un análisis exhaustivo de los procesos, operaciones y recursos que tienen un impacto directo en la seguridad y la eficiencia del sistema. Los hallazgos principales se detallan a continuación:

##### Evaluación de Procesos Operativos

Se detectaron varias actividades críticas que representan cuellos de botella en la operación diaria del sistema de tránsito aéreo. Estas incluyen:

Gestión del tráfico en pico horas: Durante los períodos de mayor demanda, las torres de control enfrentan dificultades para gestionar el tráfico aéreo de manera eficiente. Esto genera retrasos y aumenta el riesgo de incidentes.

- Problemas relacionados con la falta de herramientas avanzadas para priorizar operaciones críticas.

- Incremento de la carga de trabajo del personal en turnos clave, lo que puede derivar en errores humanos.

Falta de integración de sistemas tecnológicos: La ausencia de un sistema integrado entre las torres de control, estaciones remotas y otros actores del sistema limita la capacidad para tomar decisiones rápidas y coordinadas.

- La desincronización entre plataformas tecnológicas genera inconsistencias en la transmisión de datos.
- Este problema afecta directamente la capacidad para gestionar múltiples vuelos simultáneamente, comprometiendo tanto la eficiencia como la seguridad.

#### Infraestructura y Recursos Humanos

Obsolescencia tecnológica: Gran parte de los equipos actualmente en uso no cumplen con los estándares modernos, lo que afecta la precisión de las operaciones y aumenta los costos de mantenimiento.

- Los radares y sistemas de comunicación presentan problemas de confiabilidad durante condiciones meteorológicas adversas.
- La falta de redundancia en los equipos tecnológicos incrementa los tiempos de recuperación en caso de fallos.

Insuficiencia de personal: El déficit de controladores de tránsito aéreo capacitados representa un desafío crítico para mantener la eficiencia operativa.

- Este problema se agudiza durante las horas pico, cuando la carga de trabajo supera la capacidad del personal disponible.
- La alta rotación y la falta de incentivos dificultan la retención de talento.

#### Protocolos de Comunicación y Coordinación

Los protocolos actuales de comunicación y coordinación muestran limitaciones significativas:

- Desactualización de procedimientos: Las prácticas operativas no se han adaptado a los avances tecnológicos ni al aumento en la complejidad del tránsito aéreo. Esto afecta la coordinación con otros actores, como aerolíneas, servicios de emergencia y autoridades aeroportuarias.
- Falta de herramientas digitales: La dependencia de procedimientos manuales y comunicación verbal aumenta el margen de error en situaciones críticas.

### Impactos en la Seguridad Operacional

La combinación de los factores anteriores no solo afecta la eficiencia, sino que también pone en riesgo la seguridad operativa:

- Incremento en los incidentes menores debido a retrasos en la toma de decisiones y errores en la comunicación.
- Vulnerabilidad a emergencias imprevistas debido a la capacidad limitada de respuesta del sistema actual.

Estos hallazgos enfatizan la necesidad de priorizar la modernización tecnológica, la formación continua del personal y la actualización de protocolos como actividades fundamentales para garantizar un sistema de tránsito aéreo eficiente y seguro.

### Evaluación del impacto de la implementación

La implementación del plan de optimización para modernizar la infraestructura y los sistemas de gestión del tránsito aéreo traerá consigo un impacto significativo en las dimensiones económica, operativa y de seguridad. Este enfoque integral responde a las necesidades identificadas, asegurando una transformación sostenible y eficaz.

### Impacto Económico

La modernización permitirá reducir costos operativos al reemplazar equipos obsoletos por sistemas tecnológicos más eficientes y automatizados. Estos sistemas disminuirán la necesidad de mantenimiento frecuente y reducirán fallas técnicas, optimizando los recursos disponibles.

**Incremento de ingresos:** La capacidad para manejar un mayor volumen de operaciones aéreas incrementará los ingresos por tasas aeroportuarias y acuerdos comerciales.

**Retorno de inversión:** A largo plazo, el retorno económico será evidente, ya que los ahorros en mantenimiento y la eficiencia operativa superarán los costos iniciales de implementación.

**Optimización de recursos financieros:** La planificación presupuestaria detallada asegurará la ejecución estratégica de los proyectos prioritarios, evitando gastos imprevistos.

Este impacto económico fortalecerá la estabilidad financiera de la empresa, posicionándola como líder en gestión de tránsito aéreo en la región.

#### Impacto Operacional

Desde el punto de vista operativo, el sistema modernizado permitirá gestionar un mayor número de operaciones aéreas de manera eficiente, reduciendo la saturación de tráfico en horas pico y mejorando los tiempos de respuesta.

- **Aumento de capacidad operativa:** Los nuevos sistemas tecnológicos optimizarán el flujo de tráfico aéreo, eliminando cuellos de botella en horarios de alta demanda.
- **Coordinación eficiente:** La integración entre las torres de control, estaciones remotas y aerolíneas garantizará decisiones rápidas y efectivas.
- **Flexibilidad operativa:** El sistema será adaptable a cambios y nuevas demandas, permitiendo a la empresa escalar sus operaciones conforme crezca el sector.

Además, la automatización de procesos reducirá la dependencia de tareas manuales, agilizando las operaciones y disminuyendo los márgenes de error.

#### 4.4. Costo de implementación

**Tabla 5.** Costos de la Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM)

Concepto	Descripción	Costo estimado
Diagnóstico inicial	Evaluación de sistemas y procesos actuales	S/ 20,000.00
Modernización de infraestructura	Renovación de torres, radares y estaciones	S/ 200,000.00
Adquisición de tecnologías	Sistemas integrados de navegación y control	S/ 4,000,000.00
Capacitación del personal	Entrenamiento en nuevas tecnologías y procedimientos	S/ 700,000.00
Contratación de personal adicional	Incorporación de controladores y técnicos	S/ 110,000.00
Seguimiento y evaluación	Monitoreo de KPIs y auditorías periódicas	S/ 70,000.00
<b>TOTAL</b>		<b>S/ 5,100,000.00</b>

Elaboración propia

La tabla N° 5 presenta los costos estimados para la implementación de la solución denominada como Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM), sumando un total estimado de S/ 5,100,000.00.

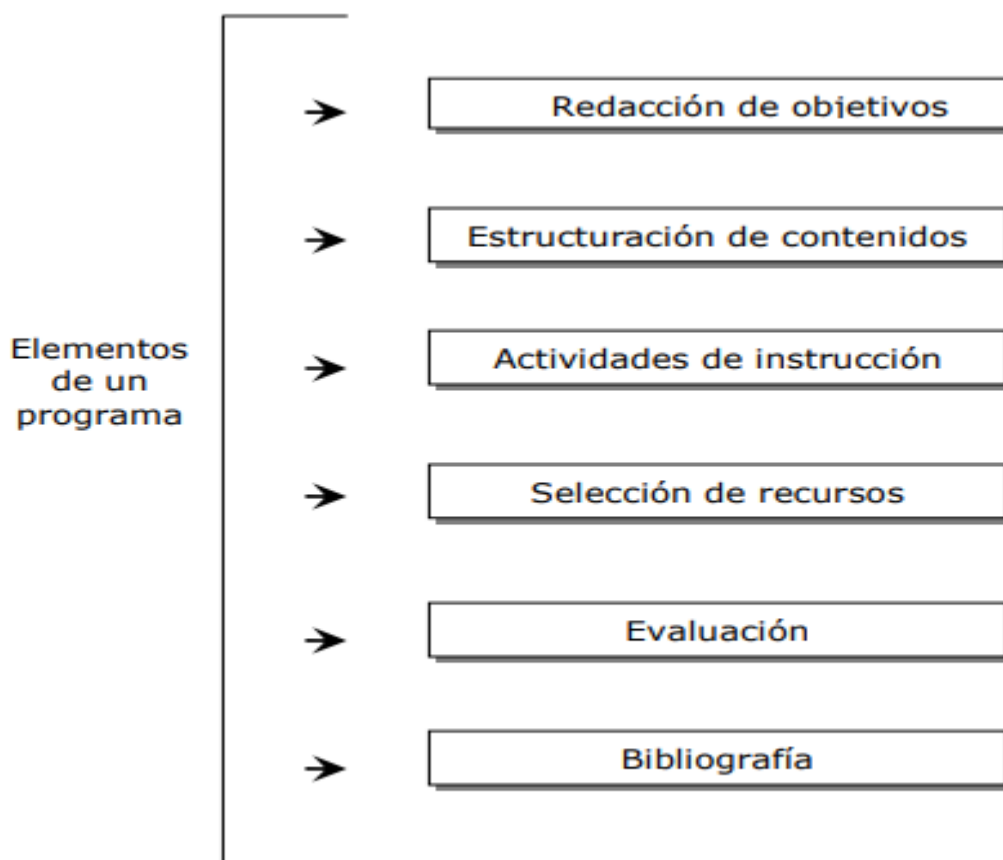
#### 4.5. Evaluación de factibilidad de la implementación

La evaluación de factibilidad es un paso esencial para garantizar que la modernización de los sistemas de gestión del tránsito aéreo sea viable desde los puntos de vista técnico, económico, operativo y organizacional. Este análisis permitirá identificar riesgos, validar la viabilidad del proyecto y tomar decisiones fundamentadas.

Para evaluar la factibilidad de la alternativa de solución planteada es necesario considerar diferentes aspectos considerados en el proceso de implementación.

Para la capacitación del personal se tendrán en consideración estrategias para garantizar el buen trabajo, considerando también estimaciones del tiempo y los recursos necesarios para capacitar al personal en el uso de las nuevas tecnologías y procedimientos. Dicho plan será estructurado como se observa en la siguiente figura.

**Figura 7.** Estructura de un programa de capacitación



Fuente: (Gobierno Federal STPS, 2008)

En la figura N° 7 podemos apreciar el esqueleto del plan de capacitación de personal, constituido por 6 pasos secuenciados y organizados.

Otro aspecto fundamental considerado es la planificación de transición con un cronograma detallado que asegure una transición fluida desde los sistemas actuales a los nuevos, minimizando interrupciones en las operaciones diarias.

**Tabla 6.** Cronograma del proceso de transición

Fase	Actividad principal	Duración	Hito	Responsable
Planificación	- Auditoría inicial de infraestructura y sistemas actuales	2 meses	Informe diagnóstico completo	Equipo técnico y consultores
	- Revisión de regulaciones y normativas aplicables	1 mes	Conformidad normativa garantizada	Asesoría legal
	- Diseño del plan detallado de implementación.	1 mes	Plan aprobado	Jefe de proyecto
Adquisición	- Selección y contratación de proveedores de tecnología.	2 meses	Contratos firmados	Equipo de adquisiciones
	- Compra de equipos y software avanzados	2 meses	Equipos disponibles	Proveedores
Pruebas piloto	- Implementación inicial en zonas específicas	3 meses	Evaluación de pruebas piloto	Equipo técnico y supervisión.
	- Ajustes técnicos y optimización según resultados de prueba.	1 mes	Validación técnica final	Equipo técnico
Implementación	- Despliegue gradual de sistemas en todas las instalaciones.	6 meses	Sistemas operativos	Gerencia de operaciones
	- Instalación y calibración de equipos.	3 meses	Lista de infraestructuras	Proveedores y técnicos
	- Actualización de infraestructura física (torres y estaciones)	6 meses (en paralelo)	Renovación completa	Equipo de construcción
Capacitación	- Formación inicial del personal técnico y operativo.	3 meses	Personal capacitado	Instructores y RRHH
	- Certificación continua del personal	6 meses (en paralelo)	Sistema de certificación activo	Recursos humanos
Evaluación inicial	- Pruebas finales y evaluación del sistema implementado.	1 mes	Aprobación operativa	Equipo de auditoría
	- Ajustes finales según evaluación	1 mes	Optimización completada	Gerencia de proyectos

Seguimiento y Monitoreo	- Establecimiento de sistema de monitoreo continuo	Permanente	Informes trimestrales	Equipo monitoreo	de
	- Evaluaciones periódicas de desempeño	Cada 3 meses	Ajustes y mejoras	Gerencia de calidad	

### Proyección de recuperación de inversión

La modernización de la infraestructura y los sistemas de gestión del tránsito aéreo lleva consigo una fuerte inversión, para la cual también se contempla como esta implementación generará beneficios económicos, operativos y de seguridad que permitirán su recuperación en el mediano plazo. A continuación, se presenta una proyección de recuperación basada en tres áreas clave de impacto:

#### 1. Incremento en la eficiencia operativa

##### Reducción de costos operativos:

- La implementación de tecnologías avanzadas disminuirá los costos asociados con el mantenimiento de equipos obsoletos. Se estima una reducción del 20% en estos costos anuales, equivalente a S/ 3.000.000.
- Los sistemas automatizados reducirán el tiempo de procesamiento de cada operación aérea, permitiendo atender más vuelos con los mismos recursos.

##### Mayor capacidad operativa:

- La modernización permitirá gestionar un incremento del 30% en el tráfico aéreo durante las horas pico, lo que se traducirá en mayores ingresos por servicios aéreos.
- Se estima un ingreso adicional de S/ 5,000,000 anuales por la ampliación de la capacidad operativa.

#### 2. Aumento de ingresos por servicios

##### Mejora en la puntualidad y la calidad del servicio:

- La reducción de retrasos y la mejora en la gestión del tráfico aéreo aumentarán la satisfacción de las aerolíneas y otros usuarios, fomentando contratos a largo plazo con operadores internacionales.
- Se proyecta un aumento del 15% en los ingresos por contratos y servicios adicionales, generando aproximadamente S/ 4,000,000 adicionales al año.

La introducción de servicios diferenciados, como rutas prioritarias o gestión preferencial, podría generar ingresos adicionales estimados en S/ 2,000,000 al año.

### 3. Reducción de incidentes y sanciones

Menor impacto económico por incidentes:

- Los sistemas modernos reducirán la probabilidad de incidentes operativos que puedan generar multas o penalidades por parte de organismos reguladores.
- Se estima un ahorro de S/ 1,500,000 anuales en este rubro.

**Tabla 7.** Proyección de recuperación de inversión

Concepto	Beneficio estimado anual (S/)
Reducción de costos operativos	200,000.00
Incremento de capacidad operativa	300,000.00
Incremento de ingresos por contratos	1,500,000.00
Nuevos ingresos por servicios premium	500,000.00
Ahorro por reducción de incidentes	300,000.00
<b>Total anual</b>	<b>2,800,000.00</b>

Elaboración propia

En la tabla N° 7 podemos encontrar el beneficio que se estima obtener luego de la optimización de los procesos de gestión de control de tránsito aéreo de la empresa

mediante la aplicación del plan de modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM), la cual, después de los primeros dos años presentará beneficios económicos que continuarán acumulándose, generando ganancias netas anuales para la empresa. Además, la mejora en la reputación y la confianza del sistema de tránsito aéreo podría atraer nuevas oportunidades de inversión y colaboración internacional, consolidando la sostenibilidad financiera del proyecto.



## CONCLUSIONES

### PRIMERA

Para el objetivo general se determinó Modernización de Infraestructura y Sistemas de Gestión del Tránsito Aéreo (ATM), permite optimizar los procesos de control, mejorar la seguridad y aumentar la eficiencia operativa de la empresa. Al implementar tecnologías avanzadas, renovar protocolos de comunicación y capacitar al personal, se logra una gestión más proactiva y adaptable a las demandas crecientes del sector, con un enfoque en la sostenibilidad y el mantenimiento preventivo como pilares fundamentales para garantizar la continuidad operativa.

### SEGUNDA

Respecto al primer objetivo específico, se encontró que el diagnóstico realizado identificó problemas clave, como la obsolescencia tecnológica, la falta de integración de sistemas y la insuficiencia de personal capacitado, ayudando así a comprender las necesidades reales del sistema y diseñar un plan de implementación que atienda de manera estratégica las deficiencias identificadas, priorizando las áreas de mayor impacto en la operación.

### TERCERA

En relación al segundo objetivo específico, la identificación de actividades críticas permitió encontrar que la saturación del tráfico aéreo, la falta de interoperabilidad tecnológica y la desactualización de los protocolos de comunicación son factores que afectan la eficiencia y seguridad operativa. Al abordar estas actividades en el plan de modernización, se asegura una operación más fluida, coordinada y segura, reduciendo riesgos y optimizando recursos.

### CUARTA

En relación al tercer objetivo específico, la evaluación del impacto económico, operacional y de seguridad de la implementación, demostró que la inversión es viable y sostenible a largo plazo. Los resultados proyectan un incremento en la capacidad operativa, una reducción significativa de incidentes por fallos y la recuperación de la inversión en aproximadamente dos años, gracias a la mayor eficiencia y reducción de costos operativos.

## RECOMENDACIONES

### PRIMERA

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo que evalúe la eficiencia operativa y el impacto de las tecnologías modernas, así como establecer un programa de mantenimiento preventivo robusto para garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas. Esto permitirá mantener los niveles de eficiencia y adaptarse a los cambios futuros en la demanda operativa.

### SEGUNDA

Es fundamental realizar diagnósticos periódicos de los sistemas y procesos operativos para detectar nuevas áreas de mejora. Además, se recomienda asignar recursos específicos para la actualización constante de la infraestructura y el equipamiento, asegurando que la empresa no vuelva a enfrentar deficiencias tecnológicas críticas.

### TERCERA

Se recomienda priorizar la automatización de las actividades críticas identificadas, como la gestión del tráfico en horarios pico y la interoperabilidad tecnológica. Además, deben desarrollarse protocolos dinámicos que sean revisados y ajustados regularmente, garantizando una operación segura y eficiente en cualquier escenario.

### CUARTA

Se sugiere establecer mecanismos de medición y seguimiento del impacto económico, operacional y de seguridad a lo largo del tiempo, asegurando que las proyecciones de recuperación de la inversión y los beneficios esperados se cumplan. Asimismo, se recomienda fomentar alianzas con instituciones gubernamentales y privadas para diversificar las fuentes de financiamiento y reducir los riesgos financieros.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2019). La información fue extraída del Consejo Internacional de Aeropuertos. *nforme global sobre la capacidad aeroportuaria.*
- Alfaya, J., & Ángel, M. (2025). Binter pide ampliar horarios y más controladores aéreos para evitar retrasos en los aeropuertos de Canarias. [https://cadenaser.com/canarias/2025/01/15/binter-pide-ampliar-horarios-y-mas-controladores-aereos-para-evitar-retrasos-en-los-aeropuertos-de-canarias-radio-club-tenerife/?utm\\_source=chatgpt.com](https://cadenaser.com/canarias/2025/01/15/binter-pide-ampliar-horarios-y-mas-controladores-aereos-para-evitar-retrasos-en-los-aeropuertos-de-canarias-radio-club-tenerife/?utm_source=chatgpt.com)
- ALTA NEWS. (2024). Enero espectacular: El Tráfico Aéreo en Latinoamérica y El Caribe creció 7.6%. [https://alta.aero/news/enero-espectacular-el-traffic-aereo-en-latinoamerica-y-el-caribe-crecio-7-6%26lang%3Des?utm\\_source=chatgpt.com](https://alta.aero/news/enero-espectacular-el-traffic-aereo-en-latinoamerica-y-el-caribe-crecio-7-6%26lang%3Des?utm_source=chatgpt.com)
- Barbosa, J., Castineyra, D., & Flores, D. (2024). Despegue del tráfico aéreo en América Latina reactiva las necesidades de inversión. [https://www.spglobal.com/\\_assets/documents/ratings/es/pdf/2024/2024-07-02-despegue-del-traffic-aereo-en-america-latina-reactiva-las-necesidades-de-inversion.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.spglobal.com/_assets/documents/ratings/es/pdf/2024/2024-07-02-despegue-del-traffic-aereo-en-america-latina-reactiva-las-necesidades-de-inversion.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- De la Cruz, A., & Mejía, J. (2018). Optimización de los procesos operacionales en una aerolínea aplicando la metodología PHVA. Universidad San Martín de Porres. [file:///C:/Users/MARCELO/Downloads/delacruz\\_mejia.pdf](file:///C:/Users/MARCELO/Downloads/delacruz_mejia.pdf)
- Eurocontrol. (2020). Air Traffic Management Performance Review Report. <https://www.eurocontrol.int>
- Federal Aviation Administration. (2021). NextGen Surveillance and Broadcast Services (ADS-B). <https://www.faa.gov>
- Gobierno Federal STPS. (2008). *Elaboración de programas de capacitación. Vivir mejor.*
- ICAO. (2018). International Civil Aviation Organization. *Air Traffic Control Training Manual*. <https://www.icao.int>
- ICAO. (2021). International Civil Aviation Organization. *ICAO Safety Manual*. <https://www.icao.int>

- Larenas, N. (2024). Tráfico aéreo en América Latina y el Caribe aumentó el 5,5%. [https://www.nlarenas.com/2024/05/trafico-aereo-america-latina-y-caribe-aumento/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.nlarenas.com/2024/05/trafico-aereo-america-latina-y-caribe-aumento/?utm_source=chatgpt.com)
- Liu, Q., Li, Y., & Yang, H. (2020). The development and implementation of ADS-B systems in air traffic control. *Aerospace Science and Technology*.
- Martinez, K. (2021). Lost in Space: An Exploration of the Current Gaps in Space Law. *Seattle Journal of Technology. Environmental & Innovation Law*. [https://aede-aeroespacial.org/wp-content/uploads/2024/12/REDAE\\_DIGITAL\\_N4\\_dic\\_2024.pdf](https://aede-aeroespacial.org/wp-content/uploads/2024/12/REDAE_DIGITAL_N4_dic_2024.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Plan nacional de navegación aérea (PNNA)*. MTC.
- MORDOR. (2023). Analisis de participacion y tamaño del mercado de gestion del trafico aereo tendencias de crecimiento y pronosticos (2024-2029). <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/air-traffic-management-market>.
- MTC. (2023). La información fue basada en: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Informe sobre el desarrollo del sistema de navegación aérea en el país*.
- Müller, M., Kowalski, R., & Böhm, A. (2020). Radar and surveillance systems for air traffic control: A comprehensive review. *Journal of Air Transport Management*.
- Müller, M., Kowalski, R., & Böhm, A. (2020). Radar and surveillance systems for air traffic control: A comprehensive review. *Journal of Air Transport Management*.
- OACI. (2020). Organización de Aviación Civil Internacional . *Proyecciones de tráfico aéreo: Informe global*.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2021). *Manual de Control de Tránsito Aéreo*. <https://www.icao.int>
- Rivera, A. (2022). Proyecto de sistema de control de flujo de transito aereo para aeropuertos. Universidad de Lima.

[https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/16797/Rivera%20Herbozo\\_Proyecto-transito-aereo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/16797/Rivera%20Herbozo_Proyecto-transito-aereo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rodríguez, J. (2016). Gestión del control del tránsito aéreo: Estrategias y herramientas. Aeronáutica Global.

[https://www.seneam.gob.mx/transparencia/archivos/1055.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.seneam.gob.mx/transparencia/archivos/1055.pdf?utm_source=chatgpt.com)

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). Manual de Procedimientos de Control de Tránsito Aéreo. <https://www.sct.gob.mx>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). Manual de Procedimientos de Control de Tránsito Aéreo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México.

Sundström, P., Johansson, B., & Bergström, S. (2019). Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS): A tool for improving air traffic management. Aviation Technology.

