



# Aproximaciones Simultáneas

en el Aeropuerto AMB 

Mejoras en la Eficiencia Operativa  
y Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub>





**Documento desarrollado colaborativamente por integrantes de la mesa Vuelo Verde, publicado por la Agencia de Sostenibilidad Energética, la Junta de Aeronáutica Civil y el Ministerio de Energía, a través del Programa Vuelo Limpio.**

#### **Autores**

Claudia Atiquipa, Junta de Aeronáutica Civil.  
Fernanda Cabañas, Agencia de Sostenibilidad Energética.  
Cristóbal Correa, Agencia de Sostenibilidad Energética.  
Sebastián Flores, Junta de Aeronáutica Civil.

#### **Revisión**

Julio De Souza, International Air Transport Association.  
Héctor Ibarra, Dirección General de Aeronáutica Civil.  
Soledad Morgado, International Air Transport Association.  
Mariela Valdés, LATAM Airlines Group.

#### **Diseño**

Derechos reservados.

**La mesa Vuelo Verde** fue creada en el año 2022 como una iniciativa de la International Air Transport Association (IATA) junto a la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Su objetivo es la promoción de la toma de decisión colaborativa en materias operacionales. La mesa está compuesta por: la IATA; la DGAC; la Junta de Aeronáutica Civil (JAC) y la Agencia de Sostenibilidad Energética por medio del Programa Vuelo Limpio; la concesionaria Nuevo Pudahuel, la Asociación Chilena de Líneas Aéreas (ACHILA), y las aerolíneas chilenas JetSMART, LATAM y SKY.

Esta iniciativa fue impulsada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) en conjunto con LATAM Airlines y posteriormente fortalecida por la Mesa Vuelo Verde, instancia en la que participa el programa Vuelo Limpio, encargado de cuantificar los beneficios energéticos y ambientales asociados a las medidas trabajadas en la mesa.

#### **Publicación**

2026



# Glosario



**AMB (Aeropuerto Arturo Merino Benítez):** Principal aeropuerto de Chile, ubicado en Santiago, que opera vuelos nacionales e internacionales.

**ATC (Air Traffic Control):** Servicio de control de tránsito aéreo responsable de gestionar el tráfico aéreo para garantizar operaciones seguras y eficientes.

**ATIS (Automatic Terminal Information Service):** Sistema de difusión automática de información operacional relevante (como el clima y los procedimientos en uso) para las aeronaves que se aproximan al aeropuerto.

**Certificación RNP AR:** Autorización requerida para operar procedimientos RNP (Required Navigation Performance) con mayor precisión. Es necesaria tanto para el avión como para el piloto.

**ILS:** Instrumental Landing System.

**IMC (Instrument Meteorological Conditions):** Condiciones meteorológicas que requieren que las operaciones de vuelo se realicen utilizando instrumentos de navegación debido a visibilidad reducida.

**Nm:** Milla Náutica.

**PBN (Performance Based Navigation):** Sistema de navegación basado en el desempeño que utiliza capacidades de navegación avanzadas, como GPS, para definir rutas aéreas más precisas y eficientes.

**Procedimiento de Frustrada (Go-around):** Maniobra realizada por una aeronave que aborta el aterrizaje y vuelve a tomar altitud para intentar una nueva aproximación de forma segura.

**RNP (Required Navigation Performance):** Tipo de navegación basada en desempeño que requiere que las aeronaves mantengan una trayectoria precisa dentro de márgenes definidos.

**RNP AR (Authorization Required):** Nivel de navegación RNP que exige autorización especial para su uso, por la complejidad de los procedimientos y los requisitos de seguridad.

**VMC (Visual Meteorological Conditions):** Condiciones meteorológicas visuales, que permiten a los pilotos volar con referencia visual al terreno.



# Contenido



<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Implementación.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Metodología.....</b>	<b>11</b>
3.1 Alcance y limitaciones.....	11
a) Encuesta a pilotos aéreos .....	11
b) Encuesta a controladores de tráfico aéreo.....	11
c) Ahorro de consumo de combustibles.....	14
3.2 Metodología .....	12
a) Encuestas a pilotos aéreos .....	12
b) Encuestas a controladores de tráfico aéreo.....	12
c) Estimación del ahorro de emisiones .....	13
<b>4. Resultados .....</b>	<b>14</b>
4.1 Experiencias y percepciones de pilotos de aviación comercial.....	14
4.2 Experiencias y percepciones de controladores aéreos .....	18
4.3 Estimación de beneficios energéticos y ambientales.....	21
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>22</b>
5.1 Próximos pasos .....	23



# Resumen Ejecutivo

El presente caso de estudio documenta la implementación del procedimiento de aproximaciones simultáneas en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB), principal terminal aéreo de Chile ubicado en Santiago. Lo anterior en respuesta al incremento del tráfico aéreo y a las características del patrón previo de aproximación, que obligaba a los vuelos del sur a desviarse hacia el norte para integrarse al flujo de llegada.

Desde el 2020, se implementó un procedimiento de aproximación simultánea mediante tecnología *Required Navigation Performance - Authorization Required* (RNP AR) por medio de una nueva cartilla de aproximación denominada RNP T, lo que permite a los vuelos del sur aproximarse de forma directa a la pista 17 derecha (17R) en paralelo a los vuelos del norte que aterrizan en la 17 izquierda (17L). Esta implementación permite optimizar las trayectorias de llegada y reduciendo significativamente los tiempos de vuelo, el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Con el objetivo de estimar los beneficios de la implementación de las aproximaciones simultáneas en AMB, se realizaron encuestas a pilotos y controladores aéreos. Además, para comprender el uso efectivo de la aproximación RNP T, se analizaron datos de vuelos reales correspondientes a una semana de operación en el aeropuerto.

**Se estima que esta aproximación genera una reducción promedio de 2,5 minutos por vuelo, lo que equivale a un ahorro promedio de 37 kg de combustible por cada aproximación que utiliza RNP T. Considerando todas las operaciones de AMB, esto se traduce en un ahorro anual de al menos 570.000 kg de combustible y una reducción estimada de más de 1.800 toneladas de CO<sub>2</sub>.**

Estos resultados se traducen en diversos beneficios para el transporte aéreo, destacando una mayor

## Beneficios

  
↓ **2,5 minutos**  
por vuelo (en promedio)

  
↓ **37 kg**  
de combustible por vuelo

  
↓ **570.000 kg**  
de combustible al año

  
↓ **1.800 t CO<sub>2</sub>**  
emitidas al año

puntualidad, fluidez del tráfico aéreo, menor estrés en cabina y un incremento en la capacidad operativa del aeropuerto, sin comprometer la seguridad. En efecto, este procedimiento ha sido ampliamente adoptado por las aerolíneas y se ha integrado de manera rápida y eficaz en las operaciones.

Este caso de éxito representa un paso importante hacia una operación aérea más eficiente y sostenible en Chile, lo que nos acerca a la implementación del Plan de Acción de Chile ante la OACI para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y al cumplimiento de la Meta Aspiracional de Largo Plazo de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).



# Introducción

El Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB), es el principal aeropuerto de Chile, se ubica en la comuna de Pudahuel, al noroeste de la ciudad de Santiago, y recibe tanto vuelos nacionales como internacionales. El aeropuerto es de carácter público, y opera bajo el sistema de concesiones. Actualmente posee 76 puentes de embarque, 26 estacionamientos remotos

y de carga y **dos pistas de aterrizaje llamadas 17R/35L** (17 derecha / 35 izquierda) y **17L/35R** (17 izquierda / 35 derecha). Debido a las condiciones del viento, las pistas 17R y 17 L se utilizan en un 99% del tiempo, mientras que las pistas 35R y 35L se utilizan solo el 1% del tiempo.

El aeropuerto AMB en el año 2024 registró

## 178.247 operaciones



**25.840.584**  
pasajeros



**436.482**  
toneladas de carga



**43%**  
tuvieron un origen o destino internacional.



**92%**  
realizadas con aeronaves con peso máximo de despegue superior a 60 toneladas



De los pasajeros que se embarcaron en territorio nacional con **destino dentro de Chile**

**43%**

lo hizo desde el aeropuerto AMB

**99%**

de los que se embarcaron **con destino internacional** lo hizo desde AMB.





Tradicionalmente, todos los vuelos entrantes a AMB debían unirse al mismo patrón de aproximación (de norte a sur) para aterrizar; se utilizaban ambas pistas pero de forma intercalada. Esta configuración requería que los vuelos provenientes del sur realizarán una maniobra de alejamiento hacia el norte, por el este del aeropuerto, para integrarse al flujo principal de tráfico aéreo, lo que incrementaba el tiempo de vuelo y el consumo de combustible, generando costos adicionales y congestión aérea.

Con el incremento en el volumen de tráfico aéreo, se hizo urgente optimizar la aproximación de los vuelos provenientes del sur. El reto consistía en reducir la distancia recorrida en el espacio aéreo y el consumo de combustible de estos vuelos, manteniendo al mismo tiempo la seguridad y la eficiencia en la gestión del tráfico del aeropuerto.

En 2020, en colaboración con la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de Chile y la aerolínea LATAM, se inició la implementación de un procedimiento de aproximación simultánea para las pistas 17 derecha (17R) y 17 izquierda (17L) del aeropuerto AMB. Este nuevo procedimiento emplea tecnología de navegación satelital a través

del sistema Required Navigation Performance - Authorization Required (RNP AR), que es parte del concepto más amplio conocido como Performance Based Navigation (PBN), o Navegación Basada en la Performance.

La PBN permite una mayor precisión en la navegación aérea, aprovechando la información proporcionada por los sistemas de satélites para guiar a los aviones a lo largo de trayectorias más directas y eficientes. En este caso, la aproximación RNP AR T optimiza la aproximación a la pista 17R del aeropuerto permitiendo que los vuelos procedentes desde el sur puedan aterrizar de manera simultánea con los del norte (que aterrizan en la 17L), sin necesidad de extender su trayectoria para ingresar en la secuencia de aproximación al aeropuerto, lo que en definitiva disminuye la distancia y agiliza la operación del conjunto de aeronaves que van a aterrizar en cualquiera de las dos pistas. Finalmente, con este procedimiento **no solo se mejora la eficiencia operativa del aeropuerto, sino que se contribuye a una reducción de las emisiones de carbono, beneficiando tanto a las aerolíneas como al medio ambiente.**



## Desafíos para la implementación de las aproximaciones simultáneas

Cuando la pista 17R (pista poniente) fue inaugurada en el año 2005, contaba con una separación de 1.560 metros respecto a la pista 17L (pista oriente) lo que permitía realizar operaciones de aproximación y de salida independientes en ambas pistas. Sin embargo, se determinó que no se podían usar como pistas independientes debido a obstáculos geográficos, como el Cerro Lo Aguirre y otros de la Cordillera de la Costa. Estos obstáculos dificultan la implementación de las trayectorias de aproximación separadas, las cuales son necesarias para el cumplimiento de las normas de seguridad aeronáutica.

Uno de los principales problemas identificados fue la falta de separación adecuada en las maniobras de aproximación frustrada (procedimientos de ascenso en caso de que un aterrizaje no sea posible). Si un avión debía realizar una maniobra de aproximación frustrada, su trayectoria podría interferir con la de la aeronave operando en forma simultánea en la pista izquierda, provocando un accidente o incidente. Este riesgo puede ser mitigado: cuando en un aeropuerto se operan dos pistas en forma simultánea, las maniobras de aproximación frustrada deben ser divergentes, permitiendo la simultaneidad y el aumento de operaciones en el aeropuerto.

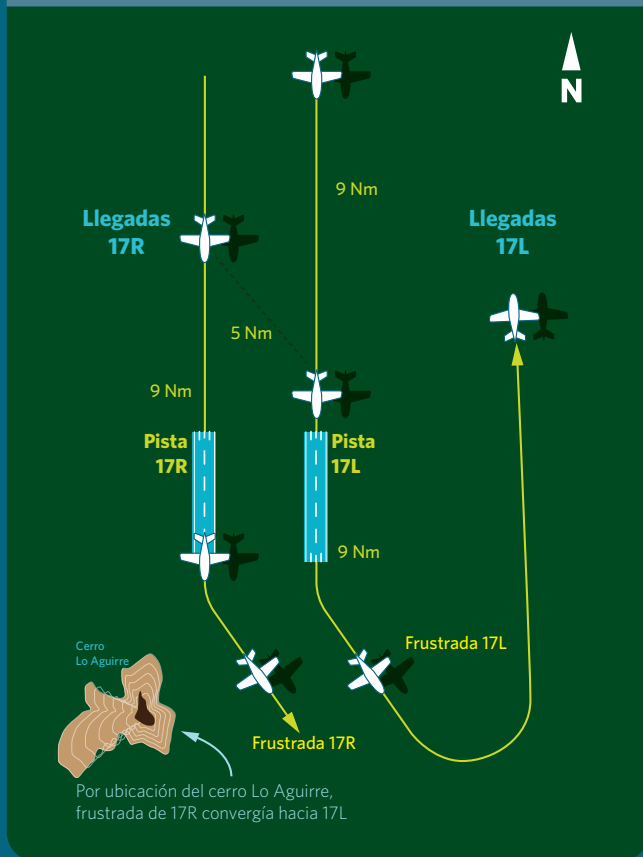


## Las aproximaciones frustradas

También conocidas como **go-around** o **aterriaje fallido**, son maniobras de escape que realiza un avión cuando no puede completar un aterrizaje de manera segura. Están diseñadas para garantizar la seguridad en caso de condiciones adversas, como mala visibilidad, obstáculos inesperados en la pista o problemas técnicos. Durante una frustrada, el avión abandona su aproximación final y sigue una trayectoria previamente establecida, subiendo a una altitud segura y alejándose del área de aterrizaje. Estas trayectorias están cuidadosamente planificadas para evitar colisiones con otros aviones y con obstáculos geográficos, especialmente en terrenos complicados, y suelen incluir virajes específicos para garantizar separaciones adecuadas.

### Llegadas antes del 2020

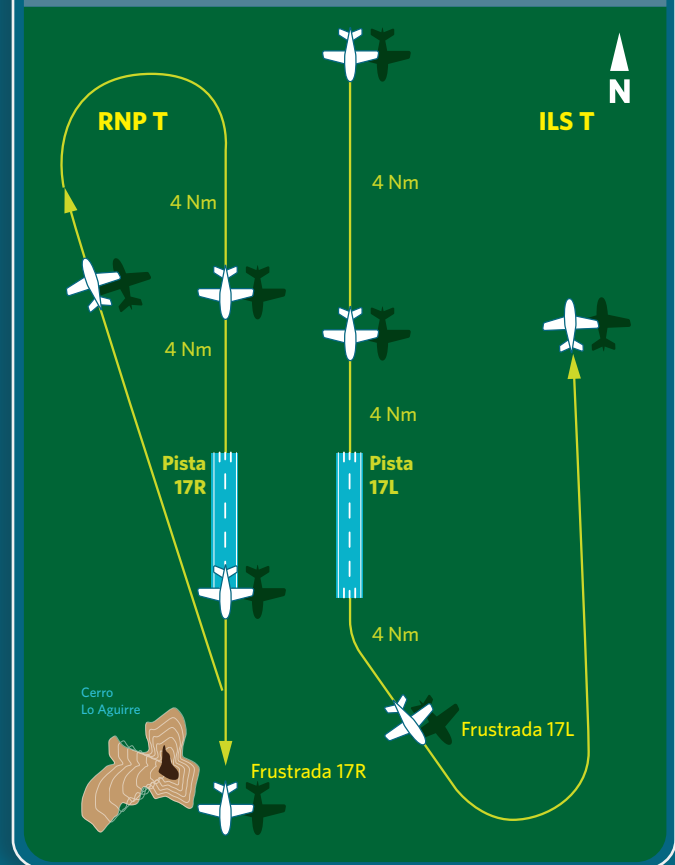
Las trayectorias de aproximación a ambas pistas no cumplían las condiciones para considerarse “separadas”, el ATC debía “intercalar” arribos de ambas pistas como si fuera una sola pista.



**Figura 1.** Aterrizaje en 17R y 17L en AMB hasta el año 2020.  
Fuente: proporcionada por LATAM Airlines.

### Llegadas post-implementación

Se cambió la aproximación desde el sur a pista 17R para permitir aproximaciones simultáneas a ambas pistas: **a 17R llegadas desde el sur y a 17L llegadas desde el norte.**



**Figura 2.** Proyecto aproximaciones simultáneas, implementado durante el verano del año 2020.  
Fuente: proporcionada por LATAM Airlines.

Este nuevo enfoque de aproximaciones simultáneas permite que los vuelos **provenientes del sur de Santiago** realicen una aproximación en curva hacia la pista 17R, adoptando una trayectoria paralela a los vuelos que provienen del norte, evitando unirse al flujo principal. Además, permite que la maniobra de frustrada 17L se realice sin interferencias del avión que opera en la pista 17R, debido a que divergen entre ellas, como se observa en la figura 2. De esta manera, se elimina o reduce la necesidad de realizar una vuelta larga hacia el norte por el sector este del aeropuerto. Este método reduce también la carga de trabajo del controlador de tránsito aéreo (Air Traffic Controller, ATC), al simplificar las trayectorias de aproximación y disminuir la necesidad de intervenciones complejas. Al mismo tiempo, garantiza una separación segura entre los aviones, optimiza el flujo de tráfico y se reduce la distancia recorrida, el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

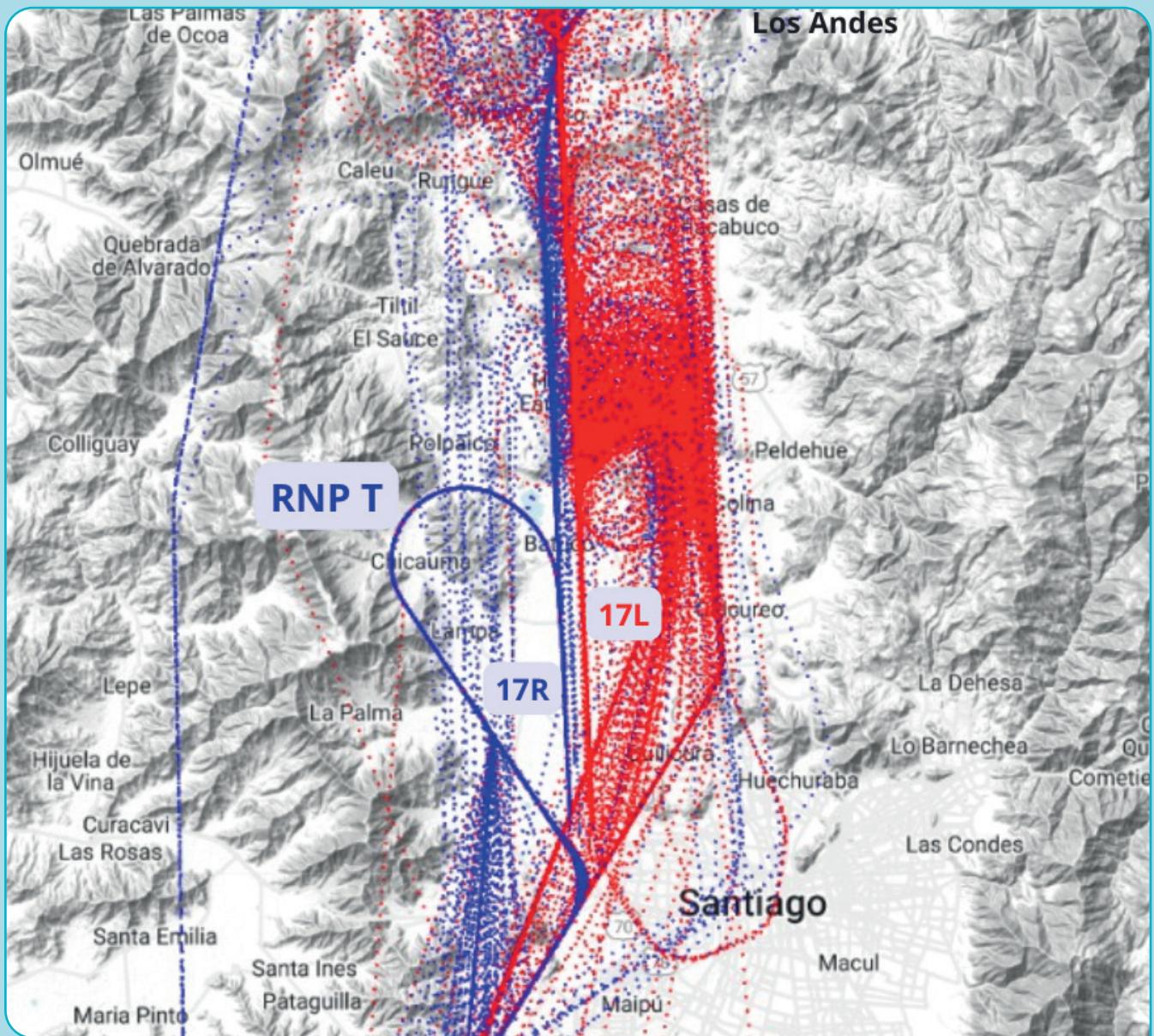


# Implementación

El procedimiento de aproximación revisado requería actualizaciones en los sistemas de gestión del tránsito aéreo y capacitación para los controladores y pilotos aéreos en el uso de la aproximación RNP T. Actualmente, este procedimiento bajo el método de aproximaciones paralelas simultáneas se aplica sólo en condiciones de vuelo visual (Visual Meteorological Conditions, VMC), lo que implica que el piloto, en la trayectoria final del RNP T, debe tener a la vista a la aeronave de la pista izquierda cuando la separación es menor a 3 millas náuticas (NM). Con el tiempo, y tras la recopilación de datos exitosos y aumento de las posiciones de control de la Torre de AMB, se espera expandir esta aproximación para que pueda operar también en condiciones meteorológicas instrumentales (Instrument meteorological conditions, IMC), aumentando la aplicabilidad del procedimiento en diversas condiciones climáticas. Cabe destacar que el aeropuerto AMB opera más del 90% del tiempo en VMC.

**Tabla 1.** Resumen de las operaciones antes y después de implementar RNP T

	Anteriormente	Aproximaciones simultáneas
Patrón de aterrizaje	Los vuelos desde el sur debían ejecutar una trayectoria extendida hacia el norte por el sector Este del aeropuerto, para integrarse en el flujo de aproximación secuenciados con los aviones que venían desde el norte.	Los vuelos del sur ahora utilizan la aproximación RNP T por el sector Oeste del aeropuerto, un procedimiento de alta precisión que permite seguir rutas preprogramadas, asegurando que cada vuelo se mantenga en su eje de aproximación sin necesidad de integrarse al flujo de tráfico desde el norte.
Tráfico aéreo	Se generan demoras y patrones de espera, especialmente en horas de mayor tráfico, dado que todos los vuelos usaban la misma trayectoria de aproximación.	Con los vuelos del sur en una trayectoria paralela a los del norte, el aeropuerto reduce significativamente la congestión y mejora la eficiencia en la pista.
Separaciones entre aeronaves	Teniendo en cuenta que las aproximaciones frustradas de las pistas 17R y 17L convergían en el mismo punto, las separaciones entre aeronaves en las aproximaciones para los dos umbrales eran de 5 y 9 NM, respectivamente, para evitar el conflicto entre aeronaves.	La implementación de una aproximación frustrada divergente entre el procedimiento RNP T y los procedimientos de aproximación de la pista 17L ha permitido que la separación fuera reducida a 4 NM en ambos umbrales, generando más eficiencia y capacidad al aeropuerto.
Impactos ambientales	El tiempo adicional en el aire incrementaba el consumo de combustible, elevando los costos operativos, huella de carbono y contaminantes locales.	Con la implementación del RNP T se habilita una trayectoria más eficiente que <b>reduce los tiempos de vuelo para todos los aterrizajes y las emisiones de CO<sub>2</sub> en AMB.</b>



**Figura 3.** Trayectoria de aproximaciones desde el sur a las pistas de AMB.  
Fuente: proporcionada por LATAM Airlines.

**LEYENDA:**

- Hacен uso de la aproximación RNP T
- Proceden mediante vectores radar del ATC por el Este del aeropuerto.

La Figura 3 muestra diversos tracks de vuelos provenientes del sur del aeropuerto AMB, representados por líneas punteadas rojas y azules. Los vuelos marcados en **azul** utilizan la aproximación RNP T y, por ende, aterrizan en la pista 17R. La alta precisión en las trayectorias RNP hace que un track se superponga con otro y se vea una sola línea continua gruesa. Por otro lado, los tracks en **rojo** corresponden a vuelos hacia la pista 17L guiados por el ATC, los cuales pueden llegar incluso cerca de la ciudad de Los Andes antes de virar, ya que son secuenciados junto con el tráfico proveniente del norte.



**Una ventaja de los vuelos que emplean la RNP T es que pueden operar de manera simultánea con vuelos provenientes del norte, sin requerir intervención directa del ATC.**

Cabe destacar que este tipo de aproximaciones simultáneas utilizando tecnología RNP tiene **poco tiempo de desarrollo a nivel global, y que la DGAC de Chile ha sido pionera en su implementación debido a que la geografía del aeropuerto** no permite aproximaciones simultáneas de la manera tradicional.



# Metodología

Este capítulo presenta la metodología utilizada para estimar los beneficios de la implementación de aproximaciones simultáneas en AMB. Esta metodología considera un análisis cualitativo, basado en la experiencia de pilotos y controladores aéreos, y un análisis cuantitativo, centrado en el ahorro de combustible.

## 3.1 Alcance y limitaciones

### A Encuesta a pilotos aéreos

Alcance:

- ▶ Las encuestas a pilotos se enfocan en obtener información sobre las experiencias y percepciones de los pilotos, con respecto a los beneficios operativos y ambientales derivados de la implementación de la aproximación RNP T.

Limitaciones:

- ▶ Las respuestas de los pilotos se basan en sus experiencias personales, las cuales pueden ser no representativas de todos los pilotos de su aerolínea.
- ▶ La encuesta puede no capturar todas las variables que influyen la eficiencia operativa como el clima o la variabilidad de las aeronaves.
- ▶ La reducción del tiempo promedio por vuelo, atribuida al procedimiento RNP T, se basa en la experiencia del piloto y no en un registro formalmente establecido.

### B Encuesta a controladores de tráfico aéreo

Alcance:

- ▶ Las encuestas a los controladores de tráfico aéreo se enfocan en: recopilar información sobre cómo la implementación de las aproximaciones simultáneas RNP T ha afectado su capacidad para gestionar el tráfico aéreo en el Aeropuerto AMB.

Limitaciones:

- ▶ Las respuestas de los controladores están basadas en su experiencia, que puede ser subjetiva y varía según la situación del tráfico aéreo, condiciones meteorológicas o las condiciones operacionales.
- ▶ El número de vuelos que realmente implementan la aproximación puede no coincidir con el número de vuelos que podría haberla utilizado.
- ▶ El período de implementación de la encuesta podría no garantizar una representatividad completa, ya que se llevó a cabo durante el período de vacaciones.



### Alcance:

▶ La metodología de estimación de ahorro de combustible tiene como objetivo cuantificar los beneficios por el uso de la aproximación RNP T. En la literatura revisada no se encontró una metodología que capture la complejidad de las aproximaciones y los beneficios operacionales al hacer uso de RNP T. Esto debido a que la realidad de cada aeropuerto es distinta y presenta sus propias complejidades. En consecuencia, **este documento presenta dos metodologías de cálculo, cuyos resultados demarcan un rango de ahorro de combustible y emisiones.** Por lo demás, ambas metodologías de cálculo son conservadoras en comparación con el ahorro total de combustible pues solo se analiza el ahorro de los vuelos provenientes del sur. **La metodología 'C.1'** se basa en el reporte de vuelos del año 2023 informado por cada aerolínea al programa Vuelo Limpio. **La metodología 'C.2'** se basa en un registro proporcionado por la DGAC correspondiente a seis días de operación en AMB durante febrero de 2025. Además de la diferencia en los datos de entrada, ambas metodologías se diferencian por la intensidad en el consumo de combustible de las aeronaves durante el tiempo en que se calcula el ahorro. Cabe mencionar que ambas metodologías se basan en simplificaciones para efectos de cálculo, y las limitaciones identificadas se mencionan a continuación.

### Limitaciones:

▶ Solo se consideran vuelos nacionales provenientes desde el sur de AMB, a pesar de que los vuelos provenientes desde el norte también reducen su consumo de combustible al usar vías menos congestionadas. El flujo de vuelos desde el norte es considerablemente mayor, razón por la cual, los resultados que se presentan en este informe son conservadores respecto al beneficio medioambiental total generado por el uso de RNP T.

Se asume que todos los vuelos provenientes desde el sur y que cuenten con certificación RNP AR, realizarían la aproximación RNP T, independientemente de las condiciones de visibilidad o las decisiones individuales de cada piloto y controlador aéreo, así como la necesidad de que no solo la aeronave cuente con certificación, sino que también el piloto debe estar certificado.

El cálculo se basa en los resultados de las encuestas, generalizando la opinión de los pilotos y controladores aéreos respecto al ahorro de tiempo por usar RNP T.

Se asume que el ahorro de combustible se produce en la fase descent y que el flujo de combustible en el motor es constante durante dicho periodo.

Esta proyección no considera el aumento de la demanda en el uso de transporte aéreo, lo cual refuerza la idea de que los resultados aquí obtenidos son conservadores respecto a los beneficios reales.

## 3.2 Metodología

**a) Encuestas a pilotos:** Para comprender los efectos de la implementación de aproximaciones simultáneas, se llevó a cabo una encuesta a pilotos de las aerolíneas JetSMART, Latam Airlines y SKY Airline. El objetivo principal de esta encuesta es recopilar las experiencias de los pilotos en relación con la mejora de la eficiencia en la aproximación de vuelos al Aeropuerto AMB, haciendo especial hincapié en aspectos como el ahorro de tiempo, la reducción del consumo de combustible y la optimización del flujo de tráfico aéreo. El detalle de las preguntas y respuestas se pueden revisar en el Anexo 1 del archivo complementario.

**b) Encuestas a controladores de tráfico aéreo:** Para comprender los efectos de la implementación de aproximaciones simultáneas, se realizó una encuesta dirigida a los controladores de tráfico aéreo. El objetivo principal de esta encuesta es recabar información sobre su experiencia en cuanto a la mejora de la eficiencia en la aproximación de vuelos al Aeropuerto AMB. Se hace especial énfasis en aspectos como el ahorro de tiempo,



la eficiencia operativa y la optimización del flujo de tráfico aéreo, con el fin de evaluar los beneficios y posibles desafíos asociados a esta modalidad de operación. El detalle de las preguntas y respuestas se pueden revisar en el Anexo 2 del archivo complementario.

**c) Estimación del ahorro de emisiones:** En esta sección se describe el paso a paso de las metodologías empleadas. Ambas consideran solo los vuelos que aterrizan en AMB provenientes desde el sur, es decir desde los aeropuertos/aeródromos: BBA (Coyhaique), CCP (concepción), MHC (Chiloé), PMC (Puerto Montt), PNT (Puerto Natales), PUQ (Punta Arenas), ZAL (Mariquina), ZOS (Osorno), y ZCO (Araucanía).

#### Metodología

### C.1

Está basada en el registro de vuelos operados en el año 2023 y contempla los siguientes pasos:

- I Se seleccionan solo los vuelos que aterrizan en AMB, que vienen desde el sur, y cuyas aeronaves cuentan con certificación RNP AR.
- II Se seleccionan solo los vuelos que reportan consumo de combustible y duración durante su fase descent. Para cada uno de ellos se calcula el flujo de combustible del motor durante dicha fase dividiendo el consumo de combustible por la duración de la fase. Usando un promedio de estos valores según modelo de aeronave, se asigna un flujo de combustible a aquellos vuelos que no reportaron consumo de combustible o duración durante la fase descent.
- III Se calcula el ahorro de combustible multiplicando el flujo de combustible por el ahorro de tiempo generado al usar la aproximación RNP T. El ahorro de tiempo se estima en 2,5 minutos, en base a las encuestas realizadas a pilotos y controladores aéreos, donde se preguntó lo siguiente: "En tu experiencia, ¿cuánto tiempo se ha reducido en promedio por vuelo gracias a la implementación del procedimiento RNP T?", siendo la respuesta más frecuente "2-3 minutos".
- IV Se calcula el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> en base al ahorro de combustible generado. Usando la relación 1 kg de combustible → 3,16 kg de CO<sub>2</sub>, aceptada internacionalmente para el cálculo de emisiones.

#### Metodología

### C.2

Está basada en el registro de vuelos operados durante 6 días realizado por la DGAC, contempla los siguientes pasos:

- I Se realizaron mediciones empíricas sobre la cantidad de vuelos provenientes desde el sur de AMB que efectivamente utilizaron la aproximación RNP T. Las mediciones fueron entre los días martes 4 de febrero de 2025 y domingo 9 de febrero de 2025. Se calculó el total de los vuelos que utilizaron RNP T durante los 6 días.
- II Por otra parte, utilizando las bitácoras de vuelos de la DGAC, se calculó el total de vuelos provenientes desde el sur de AMB para las fechas en las que se realizaron las mediciones mencionadas en el punto anterior. Se contabilizaron los aviones que cuentan con certificación RNP AR.
- III Luego, con el total de los vuelos que realizaron RNP T mencionado en el punto I, se calculó el ahorro en tiempo al multiplicarlo por 2,5 minutos (explicado en la metodología C.1 punto III). Posteriormente se consideró un flujo estimado de consumo de combustible en la fase de descenso y se multiplicó por el ahorro en tiempo.
- IV Con lo anterior se estimó el ahorro para los 6 días mencionados en el punto I. Con esa información se proyectaron los cálculos a un periodo representativo de un año.
- V Finalmente se calcula el ahorro de emisiones de forma similar a lo explicado en la metodología C.1 punto IV.



# Resultados

## 4.1 Experiencias y percepciones de pilotos de aviación comercial



A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados de la encuesta dirigida a pilotos de avión de las aerolíneas comerciales, enfocada en la implementación del procedimiento de aproximación RNP T hacia el Aeropuerto Internacional AMB (ver documento de anexos). El objetivo principal fue evaluar el impacto de las aproximaciones simultáneas en la eficiencia operativa, reducción de tiempos de vuelo, consumo de combustible y optimización del flujo de tráfico.

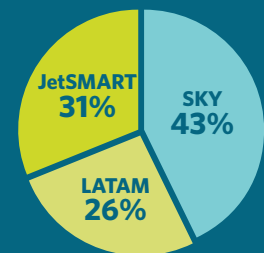


### Perfil de los Participantes:

La encuesta contó con la participación de 163 pilotos de tres aerolíneas: SKY Airlines (43%), LATAM (26%) y JetSMART (31%). La mayoría de los pilotos tiene más de 10 años de experiencia (77%), con un 83% dedicado a vuelos nacionales, lo que refleja la importancia de las operaciones dentro del país.



**163**  
pilotos



### Implementación del Procedimiento RNP T:

Un 94% de los pilotos ha utilizado el procedimiento RNP T, donde el 58% cuenta con más de 4 años de experiencia en su aplicación, y el 33% entre 1 a 3 años. La mayoría indica que **la adaptación al procedimiento de aproximación RNP T fue fácil, destacando la claridad del procedimiento y la capacitación recibida.** Aunque algunos mencionan desafíos como la gestión de la energía del avión y las condiciones de visibilidad, en general, la transición fue rápida y sin mayores dificultades.



**94%**  
de los pilotos ha utilizado el procedimiento RNP T



### Impacto en la Eficiencia:

La implementación del procedimiento RNP T ha demostrado un impacto positivo en la eficiencia de las operaciones aéreas hacia el Aeropuerto AMB. **El procedimiento ha generado ahorros significativos de tiempo**, con un 39% de los pilotos reportando una reducción de 2 a 3 minutos por vuelo, y un 17% reporta una reducción de 4 a 5 minutos. Estos ahorros en el tiempo de vuelo suponen que contribuyen a una mayor puntualidad de los vuelos, con un 78% de los pilotos indicando que la puntualidad ha tenido una mejora moderada o significativa. En términos de consumo de combustible, el 67% de los pilotos observó una reducción moderada. En cuanto al tráfico aéreo, el 47% consideró que la fluidez mejoró significativamente. Este beneficio en la fluidez del tráfico contribuye a una mayor eficiencia operativa y a la optimización de los recursos.



Reducción de tiempo promedio:  
**2 a 3 minutos por vuelo**



Se reduce el consumo de combustible



Mejora la fluidez del tráfico aéreo



### Experiencia Operativa:

El procedimiento RNP T ha contribuido a una **reducción del estrés en la cabina**, con un 67% de los pilotos reportando una disminución moderada o significativa. Además, el 93% considera que ha aumentado la capacidad operativa del Aeropuerto AMB, permitiendo gestionar más vuelos sin comprometer la seguridad.

Finalmente, el **99% de los participantes indican que están dispuestos a continuar utilizando este procedimiento** de aproximación hacia el aeropuerto AMB.



Reducción del **estrés en cabina**



Aumento de la **capacidad operativa**



### Aspectos de Mejora:

De acuerdo a las encuestas realizadas a los pilotos, se identificaron tres aspectos de mejora relevantes para este estudio, frente a los cuales se establecieron respuestas específicas, en concordancia con el estado de avance actual del procedimiento.

#### **Permitir aproximaciones paralelas independientes en toda condición meteorológica, con el fin de optimizar la utilización del procedimiento y aumentar la capacidad operativa del aeropuerto.**

**Respuesta:** considerando que el aeropuerto opera aproximadamente el 90% del tiempo con una visibilidad superior a 5.000 metros, se inició la operación con separación visual entre las aeronaves participantes. No obstante, se proyecta que, a medida que los Servicios de Tránsito Aéreo cuenten con las herramientas necesarias y aumente la cantidad de operaciones, se habiliten las aproximaciones paralelas independientes también en condiciones meteorológicas instrumentales (IMC).

#### **Permitir el ingreso directo al procedimiento RNP T desde el sur, específicamente desde el punto de navegación MAPOC, cuando las condiciones operacionales lo permitan.**

**Respuesta:** cerca del 60% de los despegues del aeropuerto se realizan hacia el norte, por lo que la necesidad de dirigir inicialmente las aeronaves hacia el aeropuerto antes de interceptar el procedimiento está justificada por los requisitos de separación lateral y vertical con los despegues. Sin embargo, en los casos en que no haya tráfico despegando hacia el norte o cuando el control de tránsito aéreo puede garantizar la separación mediante vigilancia radar, el ingreso directo al procedimiento RNP T es autorizado por frecuencia.

Desde una perspectiva medioambiental, resulta preferible prolongar ligeramente la trayectoria de una aeronave en aproximación que aplicar restricciones más severas —por debajo de 9.000 pies— a las aeronaves en ascenso, ya que las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el despegue son significativamente mayores que las de una aeronave en aproximación.

#### **Mejorar el perfil de descenso vertical y las restricciones de velocidad del procedimiento RNP T.**

**Respuesta:** el diseño de este procedimiento representó un desafío importante, ya que se implementó en un espacio aéreo que, hasta antes de su publicación, no había sido utilizado. La cercanía de la cordillera de la costa y su elevación en relación con el aeropuerto determinan que esta zona se identifique como área montañosa, lo que exige mayores márgenes de franqueamiento de obstáculos. En este contexto, las velocidades publicadas en la carta han sido establecidas principalmente para garantizar que, durante los virajes hacia la pista y bajo diferentes condiciones de viento, las aeronaves puedan mantener la trayectoria lateral sin acercarse a los obstáculos.



## Recomendaciones de Implementación futura:

Se identificaron las principales recomendaciones, las cuales han sido abordadas y desarrolladas en función de los avances alcanzados hasta la fecha.

### Publicar aproximaciones simultáneas para tráficos provenientes del norte y desde la cordillera

Se propone incorporar aproximaciones simultáneas también para los vuelos que se aproximan desde el norte y desde la cordillera, no limitándolas únicamente a los tráficos provenientes del sur. Esta acción facilitaría una gestión más eficiente del espacio aéreo y otorgaría mayor versatilidad a las operaciones. La implementación de esta propuesta se encuentra actualmente en desarrollo dentro de la Mesa Vuelo Verde.

### Minimizar la necesidad de esperas (holdings) y permitir despegues simultáneos

Se recomienda implementar acciones orientadas a minimizar la utilización de patrones de espera en el área terminal, particularmente en situaciones de alta demanda, y permitir despegues simultáneos siempre que las condiciones operativas lo permitan. Estas medidas favorecerían una mayor eficiencia en la gestión del tráfico aéreo. Esta recomendación se encuentra actualmente en etapa de análisis y desarrollo.

### Incluir en el ATIS información sobre los procedimientos en uso

Se sugiere incorporar en el sistema Automatic Terminal Information Service (ATIS) información precisa y actualizada sobre los procedimientos instrumentales en uso, incluyendo la aplicación o no de operaciones simultáneas. Contar con estos datos facilitaría una mejor preparación por parte de las tripulaciones y aumentaría su conciencia situacional antes de ingresar al área terminal.



### Mejorar los canales de comunicación de la DGAC con los usuarios

Se sugiere que la DGAC fortalezca sus estrategias de comunicación con los operadores aéreos, de modo que los proyectos, cambios operacionales e iniciativas en desarrollo sean difundidos de manera oportuna, clara y accesible. Contar con canales más directos y efectivos facilitaría una mejor comprensión por parte de los usuarios y favorecería una implementación más fluida de las medidas propuestas.

### Reducir la separación entre aproximaciones y salidas en el marco de las operaciones simultáneas

Con la implementación de las aproximaciones simultáneas, se considera conveniente avanzar hacia una reducción de las separaciones actualmente aplicadas respecto a las salidas. Esta medida permitiría optimizar la capacidad del aeropuerto y reducir limitaciones operativas que podrían resultar innecesarias en el nuevo contexto. Actualmente, esta mejora se encuentra en proceso de coordinación con el Servicio de Tránsito Aéreo (ATC).

### Publicar aproximaciones simultáneas a las pistas 35L y 35R

Para compensar la reducción de capacidad que se presenta cuando el aeropuerto opera en configuración norte debido a condiciones de viento, se plantea la publicación de procedimientos que habiliten aproximaciones simultáneas independientes a las pistas 35L y 35R. Esta medida permitiría mantener un nivel de operación más equilibrado y eficiente, evitando las limitaciones que actualmente se generan en dicha configuración.



## Conclusión de la encuesta a pilotos

Los resultados indican que el procedimiento de aproximación RNP T ha mejorado significativamente la eficiencia operativa en el Aeropuerto AMB, con beneficios reales reportados por los propios usuarios respecto a ahorro de tiempo, combustible y optimización del tráfico aéreo. Además, ha reducido el estrés en los pilotos y aumentado la capacidad operativa del aeropuerto, lo que sugiere un impacto positivo en la seguridad y eficiencia general de las operaciones.

En relación con los aspectos de mejora identificados y las recomendaciones para su implementación futura, se evidencia una visión estratégica orientada a optimizar tanto el procedimiento RNP Tango como la gestión del espacio aéreo. Las propuestas de mejora responden a una adaptación operativa alineada con las características del entorno y el progreso de los servicios de tránsito aéreo. Al mismo tiempo, las recomendaciones a mediano y largo plazo reafirman el objetivo de avanzar hacia operaciones más fluidas, seguras y sostenibles. La implementación progresiva de estas iniciativas permitirá no solo mejorar la eficiencia actual, sino también anticiparse de forma efectiva a los desafíos de un transporte aéreo en permanente crecimiento.



## 4.2 Experiencias y percepciones de controladores aéreos

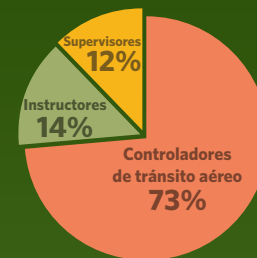


A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados de la encuesta dirigida a controladores de tráfico aéreo, enfocada en la implementación del procedimiento de aproximación RNP T hacia el Aeropuerto Internacional AMB (ver documento de anexos). El objetivo principal fue evaluar el impacto de las aproximaciones simultáneas en la eficiencia operativa, reducción de tiempos de vuelo y optimización del flujo de tráfico.



### Perfil de los Participantes:

La encuesta contó con la participación de 66 controladores aéreos. El 53% lleva más de 10 años en el cargo, lo que refleja una población experimentada en el área. La mayoría de los encuestados trabaja en la torre de control de Santiago - TWR (55%), mientras que un 45% se desempeña en el Centro de Control Aéreo (ACC) Santiago. En cuanto a sus funciones, la gran mayoría (73%) trabaja como controladores de tránsito aéreo, seguido de un 14% que actúa como instructores y un 12% como supervisores. Estos datos sugieren que la muestra está formada principalmente por profesionales con un alto nivel de experiencia y desempeñando funciones operativas en el control del tráfico aéreo.



**66**  
controladores  
aéreos



**53%**  
más de 10 años  
de experiencia



### Implementación del Procedimiento RNP T:

Ha sido ampliamente adoptada por los controladores de tránsito aéreo, con un 100% de los encuestados indicando haber utilizado este procedimiento en sus turnos de trabajo. La experiencia con la aproximación varía según el tiempo de uso, con el 48% de los controladores usándolo durante más de 4 años, y el 39% entre 1 y 3 años. La adaptación al nuevo procedimiento ha sido generalmente fácil, gracias a la capacitación proporcionada, aunque algunos controladores mencionaron que la falta de oportunidades de práctica en simuladores y la complejidad de gestionar las salidas durante la aproximación ralentizó el proceso en ciertos casos. Sin embargo, en general, la transición al procedimiento RNP T no presentó mayores inconvenientes.



**100%**

de los encuestados ha utilizado el procedimiento RNP T



### Ahorro de tiempo y eficiencia:

La implementación del procedimiento RNP T ha mostrado un impacto positivo en la eficiencia y el ahorro de tiempo en el tránsito aéreo. Según las respuestas de los controladores, la mayoría reporta una reducción significativa en el tiempo por vuelo, con un 41% indicando que el tiempo de vuelo se ha reducido entre 2 a 3 minutos, y un 15% señalando una reducción de 4 a 5 minutos. Esto ha contribuido a una mejora en la puntualidad de los vuelos, con un 79% de los encuestados observando una mejora moderada a significativa. En cuanto a la fluidez del tráfico aéreo, el 83% considera que el procedimiento ha mejorado moderada a significativamente la gestión del tráfico, lo que refleja la eficiencia alcanzada en la operación aérea.



Reducción de tiempo promedio:  
**2 a 3 minutos**  
por vuelo



Mayor  
**puntualidad**



**Mejor gestión**  
del tráfico aéreo



### Aspectos de Mejora:

Se identificaron dos aspectos de mejora relevantes, frente a los cuales se establecieron respuestas específicas, en concordancia con el estado de avance actual del procedimiento.

#### Fortalecer la coordinación operativa para la selección de configuración de pistas

**Respuesta:** se propone mejorar la coordinación en la gestión del tráfico aéreo, con el fin de determinar de forma oportuna y precisa la configuración de pistas más adecuada en función de la cantidad estimada de salidas y llegadas. Esta iniciativa contribuiría a una gestión más fluida del tránsito, minimizaría posibles retrasos y favorecería un aprovechamiento más eficiente de los recursos aeroportuarios, particularmente en situaciones de alta demanda operativa o cambios en las condiciones meteorológicas.

#### Ampliar el acceso a instancias de capacitación teórica y simulación práctica sobre procedimientos simultáneos

**Respuesta:** considerando que el Aeropuerto de Santiago es el único en el país que implementa operaciones simultáneas independientes, resulta fundamental asegurar que los controladores de tránsito aéreo cuenten con entrenamientos específicos sobre estos procedimientos. Esto incluye tanto formación teórica detallada como sesiones de simulación que reproduzcan escenarios reales, con el objetivo de garantizar una implementación segura, efectiva y alineada con los estándares internacionales desde el momento de su habilitación.

### Conclusión de la encuesta a controladores aéreos

Los resultados indican que la implementación del procedimiento de aproximación RNP T ha tenido un impacto positivo en la eficiencia operativa en el Aeropuerto AMB, reduciendo los tiempos de vuelo y mejorando la gestión del tráfico aéreo. Con la participación de controladores experimentados, el 100% de los encuestados ha adoptado este procedimiento, y la mayoría de los controladores destaca una mejora significativa en la puntualidad de los vuelos y en la fluidez del tráfico aéreo, reflejando una evaluación favorable de la implementación del procedimiento.

Respecto a los aspectos de mejora identificados reflejan una visión orientada al fortalecimiento de capacidades para una implementación exitosa de los procedimientos simultáneos. Mejorar la coordinación en la selección de la configuración de pistas permitirá una gestión más dinámica y eficiente del tráfico aéreo, mientras que ampliar las instancias de capacitación garantizará que el personal operativo cuente con las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos asociados a este tipo de operaciones. Ambas iniciativas resultan clave para consolidar una operación segura, fluida y alineada con las mejores prácticas.



## 4.3 Estimación de beneficios energéticos y ambientales



Al trabajar con dos metodologías en paralelo se obtiene lo siguiente:

Metodología

**C.1**

Del registro de Vuelo Limpio para el año 2023, se obtiene que el número de vuelos nacionales provenientes desde el sur de AMB es 17.508, de los cuales 16.536 contaban con certificación RNP AR (94%). Si todos estos vuelos hubieran usado la aproximación RNP T, en total se generaría un ahorro de 592.895 kg de combustible, lo que se traduce en una reducción de emisiones de 1.874 ton de CO<sub>2</sub>.



**17.508**

vuelos nacionales  
provenientes desde el  
sur de AMB



**16.536**

contaban con  
certificación RNP AR  
(94%)



ahorro de  
**592.895 kg**  
de combustible



Reducción  
emisiones de  
**1.874 ton**  
de CO<sub>2</sub>

De las mediciones empíricas se obtiene que el ahorro para los 6 días alcanzó 9.494 kg de combustible no utilizado, lo que, considerando un año completo, implicaría un ahorro potencial en combustible de 577.536 kg al año. Por tanto, la reducción de toneladas de CO<sub>2</sub> para un año completo podría alcanzar 1.825 ton CO<sub>2</sub>. Además, de la medición empírica se obtuvo que, en promedio, el 66% de las operaciones que vienen desde el sur de AMB utilizaron la aproximación RNP T. **Este dato sugiere que, si se lograra implementar la aproximación RNP T en un 100% de las operaciones que cuenten con la certificación RNP AR (en la medida de lo posible), el ahorro en combustible y la reducción de emisiones podrían incrementarse significativamente, alcanzando un ahorro estimado de 875.055 kg de combustible y una reducción de hasta 2.765 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.**

Metodología

**C.2**

**9.494 kg**

de combustible  
no utilizado

**66%**

de las operaciones  
utilizaron RNP T



ahorro de  
**577.536 kg**  
de combustible al año



Reducción de emisiones  
**1.825 ton de CO<sub>2</sub>**



# Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos para el caso de estudio de aproximaciones simultáneas, es posible afirmar que la implementación del procedimiento de aproximación RNP T ha representado las siguientes mejoras:

## Reducción del consumo de combustible

La estimación conservadora presentada en este informe, y validada a través de dos metodologías, indica que el uso de la aproximación RNP T puede generar un ahorro anual de combustible de al menos 570.000 kg. Visto de otro modo, cada vuelo ahorra en promedio 37 kg de combustible al usar la aproximación RNP T, lo que se traduce en menores costos operativos para las aerolíneas y en una menor emisión de CO<sub>2</sub>.

## Disminución en los tiempos de llegada

Los pasajeros se benefician de un arribo más rápido al aeropuerto, al evitarse las esperas prolongadas en el aire. De modo general, se estima que el beneficio en la disminución de tiempos de llegada ronda los 2,5 minutos.

## Mayor capacidad y fluidez del tráfico aéreo

La separación de flujos de llegada permite al aeropuerto coordinar una mayor cantidad de vuelos sin comprometer la seguridad ni la puntualidad de las operaciones. Este aumento en la capacidad de gestionar vuelos puede derivar en un aumento en la oferta de vuelos, generando beneficios tanto para los usuarios como para las empresas involucradas.

## Beneficios Ambientales

La reducción en el consumo de combustible contribuye a los objetivos de sostenibilidad del aeropuerto, disminuyendo la huella de carbono de las operaciones aéreas. La estimación conservadora presentada en este informe, y validada a través de dos metodologías, indica que el uso de la aproximación RNP T puede mitigar anualmente al menos 1.800 ton de CO<sub>2</sub>.



En conjunto, estas mejoras confirman que **la aproximación simultánea RNP T constituye una estrategia efectiva para enfrentar los desafíos actuales del tráfico aéreo**, especialmente en aeropuertos con alta demanda y limitaciones geográficas. Su éxito en AMB refuerza la necesidad de continuar avanzando en su perfeccionamiento, ampliación y transición hacia condiciones meteorológicas instrumentales (IMC), consolidando así una operación más segura, eficiente y sostenible en el tiempo.

## Próximos Pasos

Después de los resultados positivos con los vuelos provenientes del sur, la Mesa Vuelo Verde considera **expandir los procedimientos de aproximación simultánea para los vuelos provenientes del norte**. Esta ampliación permitirá al aeropuerto manejar mejor los períodos de mayor demanda, especialmente ahora que el volumen de vuelos ha vuelto a aumentar tras la pandemia. A largo plazo, se proyecta que, con la acumulación de datos y mejora de las capacidades operativas, se espera **implementar la aproximación bajo condiciones meteorológicas instrumentales (IMC)**, lo que permitiría operaciones seguras incluso en escenarios de baja visibilidad.

