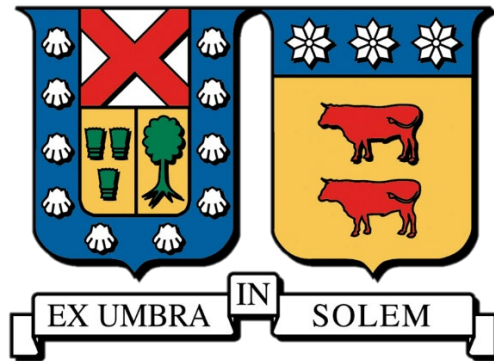


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE AERONÁUTICA
SANTIAGO-CHILE



ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE AVIONES SUPERSÓNICOS EN
RUTAS EXISTENTES Y NUEVAS DESDE CIUDADES ESTRATÉGICAS
DE LATINOAMÉRICA.

THOMAS IGNACIO PÉREZ SÁNCHEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA	: SR. MARTINUS POTTERS.
PROFESOR CORREFERENTE	: SR. ESTEBAN LÓPEZ LIBARDI.

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE

MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Estudio comparativo del uso de aviones supersónicos en rutas existentes y nuevas desde ciudades estratégicas de Latinoamérica.

Nombre del candidato(a): Thomas Ignacio Pérez Sánchez.

Carrera / Grado: Ingeniería en Aviación Comercial.

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Aeronáutica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Martinus Potters, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29/07/2025 ; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/07/2025 ; **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Índice

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	10
ÍNDICE DE ANEXOS.	11
DEDICATORIA	12
RESUMEN EJECUTIVO.....	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES.....	16
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	18
1.3 METODOLOGÍA.....	19
1.4 ALCANCE.	21
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.	22
2.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	22
2.1.1 AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA AVIACIÓN.	23
2.1.2 INTRODUCCIÓN AL MERCADO AERONÁUTICO LATINOAMERICANO.....	29
2.1.3 IMPACTO DE LA CONECTIVIDAD AÉREA EN EL DESARROLLO ECONÓMICO DE LATINOAMÉRICA.	40
2.2 MARCO TEÓRICO.	50
2.2.1 ESPECTRO SUPERSÓNICO: VELOCIDAD Y AERODINÁMICA.....	51
2.2.2 HISTORIA DE LA AVIACIÓN SUPERSÓNICA.....	54
2.2.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA Y OPERATIVA EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO.....	60

2.2.4 SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE.	61
2.3 PROPUESTA METODOLÓGICA.	64
CAPÍTULO III: DESARROLLO.	66
3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE AERONAVES SUBSÓNICAS Y SUPERSÓNICAS.	66
3.2 POSIBLES RUTAS EN BASE AL ALCANCE.	72
3.3 PROYECCIÓN DE DEMANDA.	75
3.4 VIABILIDAD ECONÓMICA.	84
3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	92
3.6 CONCLUSIONES.	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	97
ANEXOS	99
BIBLIOGRAFÍA.	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos Técnicos de aeronaves Concorde, A350, 787 y Overture.	67
Tabla 2: Comparación entre Concorde y Boom Overture en empuje, consumo y costo anual de combustible estimado.	72
Tabla 3: Ponderación del tráfico entre Chile y EE.UU. respecto al total de pasajeros internacionales desde Chile.	76
Tabla 4: Proyección de demanda hasta 2043, destaca el 1% correspondiente al supuesto de cuota de mercado.	77
Tabla 5: Comparación del tráfico entre Colombia y EE.UU./Europa respecto al total internacional.	78
Tabla 6: Proyección de demanda en Colombia hasta 2043 según cuotas del 1%, 0,5% y 0,1% del tráfico hacia EE.UU. y Europa.	80
Tabla 7: Comparación del tráfico entre Brasil y EE.UU./Europa respecto al total internacional.	81
Tabla 8: Proyección de demanda en Brasil hasta 2043 según cuotas del 1%, 0,5% y 0,1% del tráfico hacia EE.UU. y Europa.	83
Tabla 9: Estimación de ingresos en Santiago según dos precios y demanda proyectada hasta 2043.	85
Tabla 10: Estimación de ingresos en Bogotá según cuota de mercado optimista, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.	86
Tabla 11: Estimación de ingresos en Bogotá según cuota de mercado neutra, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.	87
Tabla 12: Estimación de ingresos en Bogotá según cuota de mercado conservadora, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.	88

Tabla 13: Estimación de ingresos en Recife según cuota de mercado optimista, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.....	89
---	----

Tabla 14: Estimación de ingresos en Recife según cuota de mercado neutra, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.	90
---	----

Tabla 15: Estimación de ingresos en Recife según cuota de mercado conservadora, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.....	91
--	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1: Tráfico aéreo mensual de Chile, comparando los años 2019,2020, 2021, 2022 y 2023..	17
Gráfico 2: Rentabilidad de las aerolíneas mundiales antes y después de impuestos, en billones de dólares y en términos porcentuales.	25
Gráfico 3: Precio de petróleo y combustible de aviación en dólares por barril.....	26
Gráfico 4: Distribución porcentual de las emisiones de CO ₂ por industrias.	27
Gráfico 5: Pasajeros por año entre 2014 y julio de 2024, en conjunto con la variación anual.....	31
Gráfico 6: Proyección de largo plazo (2019-2050) considerando los efectos de la pandemia.....	33
Gráfico 7: Distribución del mercado aeronáutico peruano, de enero a junio 2024.....	34
Gráfico 8: Pasajeros totales transportados (en millones) desde el año 2014 a junio del 2024.....	35
Gráfico 9: Distribución del mercado aeronáutico colombiano, de enero a noviembre 2024.....	36
Gráfico 10: Pasajeros transportados desde el año 2012 a septiembre del 2024.....	37
Gráfico 11: Distribución del mercado aeronáutico brasileño, de enero a octubre 2024.....	38
Gráfico 12: Pasajeros totales transportados (en millones) desde el año 2010 a octubre del 2024. ...	39
Gráfico 13: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Chile en 2023.....	43
Gráfico 14: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Perú en 2023.....	45

Gráfico 15: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Colombia en 2023.	47
Gráfico 16: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Brasil en 2023.	49
Gráfico 17: Curva de tendencia polinómica de la Tabla 3, donde el eje X representa los años (1= 1984, 40= 2023) y el eje Y es la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación.	76
Gráfico 18: Gráfico de dispersión con tendencia polinómica, donde el eje X representa los años (1=2012) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación.	79
Gráfico 19: Gráfico de dispersión con tendencia lineal, donde el eje X representa los años (1=2000) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación de la recta y el coeficiente de correlación.	82
Gráfico 20: Comparativa de ingresos en bases Chile, Colombia y Brasil con un precio de venta de USD 10.000.	92
Gráfico 21: Comparativa de ingresos en bases Chile, Colombia y Brasil con un precio de venta de USD 19.160.	93

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Metodología a seguir para llevar a cabo el estudio comparativo.....	20
Figura 2: Participación del mercado de aerolíneas-pasajeros durante el año 2022.	31
Figura 3: Aporte del transporte aéreo a Chile en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.	41
Figura 4: Aporte del transporte aéreo al Perú en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.	44
Figura 5: Aporte del transporte aéreo a Colombia en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.	46
Figura 6: Aporte del transporte aéreo a Brasil en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.	48

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Imagen 1: Onda de choque oblicua producida sobre una aeronave militar.	53
Imagen 2: Aeronave Bell X-1, la primera en realizar un vuelo supersónico en la historia	55
Imagen 3: Aeronaves F-5E Tiger II y F-15B utilizadas por la NASA	59

ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo 1: Simulador de motores de la NASA, valores obtenidos para un motor médium bypass ratio de características similares al motor del Overture.....	99
Anexo 2: Simulador de motores de la NASA, valores obtenidos para un motor médium bypass ratio de características similares al motor del Overture.....	99
Anexo 3: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Santiago hacia distintas ciudades de América, considerando el alcance informado por Boom Supersonic.	100
Anexo 4: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Lima hacia distintas ciudades de América, considerando el alcance informado por Boom Supersonic.	100
Anexo 5: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Bogotá hacia distintas ciudades de América, Europa y África considerando el alcance informado por Boom Supersonic.	101
Anexo 6: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Recife hacia distintas ciudades de América, Europa y África considerando el alcance informado por Boom Supersonic.	101
Anexo 7: Gráfico de dispersión con tendencia lineal, donde el eje X representa los años (1=2012) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación.....	102
Anexo 8: Gráfico de dispersión con tendencia exponencial, donde el eje X representa los años (1=2012) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación	102
Anexo 9: Gráfico de dispersión con tendencia potencial, donde el eje X representa los años (1=2000) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación	103

DEDICATORIA

Este estudio se lo dedico a todas las personas que actuaron como soporte para continuar esta senda.

Porque tomé la decisión de volver a estudiar cuando el mundo se veía confinado por la pandemia, sin duda eran momentos difíciles para todos.

En este trayecto muchas personas me acompañaron, a todas ellas les agradezco la motivación y el apoyo.

Agradezco especialmente a mi familia y amigos, que siempre están presentes y me levantan cuando he caído.

A mis padres por la educación que me brindaron, por su amor incondicional. A mi madre por su mezcla de severidad y cariño. A mi padre por su incansable esfuerzo de darnos todo lo que necesitábamos y más.

A mis hermanos, mis pequeños gigantes que comienzan a trazar sus propios caminos, pero que sin importar nada siempre están conmigo. Sepan que de manera recíproca, siempre contarán conmigo.

A Francisco, el hermano que escogí en la vida, que ha estado presente en todos los momentos importantes, también su apoyo fue fundamental para terminar esta carrera.

A Paulina, mi pareja, quien fue trascendental en la última porción de este trabajo. Me apoyó, me guio y me impulsó a entregar el esfuerzo final. Siempre con paciencia y amor.

A todos ustedes agradezco infinitamente, sin su presencia no habría logrado nada de esto, sin dudas.

RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio analiza comparativamente el uso potencial de aeronaves supersónicas en rutas comerciales existentes y nuevas, tomando como referencia cuatro ciudades estratégicas de Latinoamérica: Santiago, Lima, Bogotá y Recife. La investigación nace ante el resurgimiento de proyectos de aviación supersónica comercial, como el avanzado caso del modelo llamado “Overture”, desarrollado por Boom Supersonic, lo que plantea interrogantes sobre su viabilidad técnica y económica en el contexto regional.

Se revisa la historia de la aviación supersónica y se comparan las características técnicas del Concorde con los nuevos diseños, considerando avances tecnológicos, eficiencia energética y restricciones medioambientales actuales. Además, se realiza un diagnóstico de los mercados aeronáuticos de los países mencionados, evaluando operadores predominantes, tamaño de mercado, ubicación geográfica, principales destinos y ponderación del total de pasajeros internacionales, estimación de destinos según el alcance de la aeronave supersónica y potencial viabilidad económica.

El estudio incorpora una proyección de demanda para los vuelos supersónicos, así como el análisis de costos operacionales asociados. Con esto, se evalúa la factibilidad operativa de las aeronaves supersónicas en los aeropuertos seleccionados, considerando el ámbito económico.

Los resultados muestran que para el mercado latinoamericano sería prácticamente imposible llevar a cabo este tipo de proyecto, aun considerando las proyecciones más optimistas. Como era de esperarse, la viabilidad económica se erige como el mayor obstáculo y por eso es recomendable que se considere la región como un todo y no como ciudades separadas, para intentar alcanzar niveles de demanda que permitan generar márgenes positivos.

Palabras clave: Aeronave supersónica, Overture, Boom Supersonic, proyección de costo y demanda.

ABSTRACT

This study comparatively analyses the potential use of supersonic aircraft in existing and new commercial routes, taking as reference four strategic cities in Latin America: Santiago, Lima, Bogota, and Recife. The research was prompted by the resurgence of commercial supersonic aviation projects, such as the advanced case of the “Overture” model developed by Boom Supersonic, which raises questions about its technical and economic viability in the regional context.

The history of supersonic aviation is reviewed, and the technical characteristics of the Concorde are compared with the modern designs, considering technological advances, energy efficiency and current environmental restrictions. In addition, a diagnosis of the aeronautical markets of the aforementioned countries is made, evaluating predominant operators, market size, geographic location, main destinations and weighting in total international passengers, estimating destinations according to the range of the supersonic aircraft and potential economic viability.

The study incorporates a demand projection for supersonic flights, as well as an analysis of associated operational costs. This evaluates the operational feasibility of supersonic aircraft at the selected airports, considering the economic scope.

The results show that implementing this type of project in the Latin American market would be practically impossible, even considering the most optimistic projections. As expected, the economic feasibility emerges as the biggest obstacle, and therefore it is advisable to consider the region as a whole, rather than individual cities, in order to achieve demand levels that allow to generate positive margins.

Keywords: Supersonic aircraft, Overture, Boom Supersonic, Cost and demand projections.

INTRODUCCIÓN.

Desde que se completó con éxito el primer vuelo controlado mediante un vehículo autopropulsado más pesado que el aire, el hombre ha utilizado todo su ingenio y las herramientas más sofisticadas que pudiera crear para poder desarrollar la tecnología necesaria que pudiera mejorar el funcionamiento de estas máquinas voladoras.

Impulsada por los grandes conflictos bélicos mundiales de la primera mitad del siglo XX, la humanidad se dedicó a estudiar y desarrollar distintos modelos de aeronaves que les permitieran cumplir los distintos propósitos que se tenían, ya fuera aeronaves de gran tamaño capaces de transportar gran cantidad de personas y carga, en conjunto con bombas de alto impacto, o pequeñas pero muy ágiles y maniobrables aeronaves de combate que permitieran realizar rápidos ataques y maniobras que pusieran a prueba tanto las capacidades humanas de los pilotos, como la resistencia de la estructura del avión.

Es así, como en el desierto de California en 1947 un equipo de militares estadounidenses logró realizar el primer vuelo supersónico de la historia y con él, la aviación volvía a revolucionar al mundo.

Para cuando se realizó dicha hazaña, la aviación ya había sido reconocida como una potencial industria del transporte, por lo que las bases de la aviación comercial en tiempos de paz ya habían sido sentadas, es entonces cuando aparecen dos aeronaves comerciales supersónicas, la primera perteneciente a la Unión Soviética, la segunda de origen Anglo-francesa.

Pese a que el uso de estos aviones fue un fracaso en el pasado, existen nuevos proyectos para volver a desarrollarlos con la idea de explotarlos comercialmente, el presente estudio comparará el uso de estos nuevos aviones con las aeronaves subsónicas, con la finalidad de encontrar ventajas, desventajas, oportunidades, y también, identificar si es viable económicamente o no.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES.

1.1 JUSTIFICACIÓN.

Se conoce como avión supersónico a toda aquella aeronave capaz de mantener el vuelo horizontal a velocidades que superan la velocidad del sonido, también conocida como Mach 1, y pese a que dichas aeronaves se asocian más con misiones militares (de espionaje o de combate), en la historia de la aviación si han sido utilizadas con un fin comercial.

El caso más conocido corresponde al modelo “Concorde”, aeronave que fue desarrollada por Francia y el Reino Unido, que fue explotada desde el año 1969 hasta el 2003. El Concorde era capaz de conectar Londres y Nueva York en apenas 3 horas y media, mientras que los aviones comerciales convencionales realizaban el vuelo en 7 horas y media.

Entre algunos de los motivos de la retirada del Concorde de los cielos se encuentra que su operación era muy costosa, además, era un avión altamente contaminante debido a las altas emisiones de ruido que se provocan al superar la barrera de velocidad del sonido y también, debido al alto consumo de combustible que realizaban sus motores para generar el empuje necesario (alrededor de 26.000 litros de combustible por hora (Santana, 2023)).

Sin embargo, en el último tiempo han aparecido iniciativas que buscan volver a realizar operaciones comerciales supersónicas, como es el caso de la empresa “Boom Supersonic” que se encuentra diseñando el avión “Overture”, El primer vuelo de esta aeronave se realizará en 2027 (Boom, Boom supersonic, 2023) y aunque todavía está en fase de prueba, grandes aerolíneas americanas como “American Airlines” y “United Airlines” ya han realizado órdenes de compra, en conjunto con “Japan Airlines” (Boom, Boom supersonic, 2023).

Debido a esto, pese a que el proyecto aún esté en fases iniciales, se trata de una alternativa que merece ser analizada, la demanda de pasajeros continúa creciendo desde el año 2022 y que alguna aerolínea Latinoamericana cuente con vuelos supersónicos podría mejorar la posición de la región dentro del mercado aeronáutico mundial.

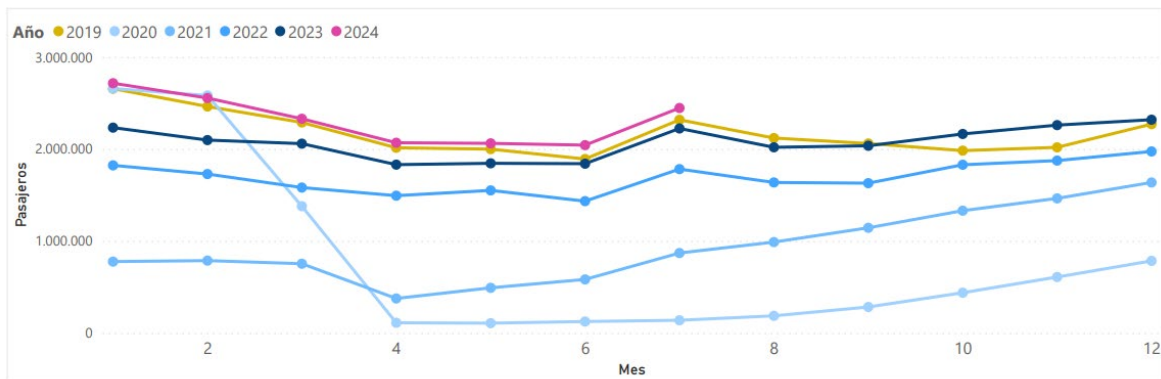


Gráfico 1: Tráfico aéreo mensual de Chile, comparando los años 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.

Fuente: Junta Aeronáutica Civil (JAC, 2024).

Al ofrecer estos vuelos, se reducirían los tiempos de viajes entre orígenes y destino, por lo que se ofrecería un mejor servicio y mejoraría la percepción de calidad por parte de los pasajeros.

Además, podría producirse la apertura de nuevas rutas directas que no sean explotadas todavía, ya que pueden no ser un atractivo turístico como para contar con vuelos regulares, pero sí, pudieran ser un atractivo comercial para ejecutivos que quieran o necesiten realizar viajes de negocios, contexto en el cual se le otorga gran valor al tiempo que se requiere para concretar las reuniones.

Finalmente, el hecho de que se realicen las mismas rutas existentes en menos tiempo mejoraría la conectividad del país que incluya estos vuelos, y consecuentemente la región.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL.

El objetivo de este estudio comparativo es evaluar la conveniencia técnica y económica del potencial uso de aviones supersónicos en las rutas existentes y nuevas desde ciudades estratégicas de Latinoamérica.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar las características técnicas de los aviones supersónicos en comparación con los aviones convencionales en uso en la actualidad en Latinoamérica.
- Identificar las rutas existentes y comparar la performance de los aviones convencionales en dichas rutas con la performance de aviones supersónicos en términos de tiempo de vuelo.
- Identificar los costos y beneficios de la operación de aeronaves supersónicas.
- Evaluar técnica y económicamente la posibilidad de abrir nuevas rutas directas gracias al uso de aviones supersónicos.

1.3 METODOLOGÍA.

La metodología que será utilizada para la realización del presente estudio comenzará con investigación teórica, comenzando con la recopilación de datos e información clave (Características de la estructura de las aeronaves, largo del fuselaje, superficie alar, potencia de los motores, rango y autonomía máximos, capacidades de carga, velocidad de crucero) de las aeronaves convencionales que explotan el mercado chileno y latinoamericano, respecto a prospectos capaces de superar la velocidad del sonido, para luego identificar todos los destinos internacionales a los que llegan las aerolíneas de la región, así como también, aquellos destinos no explotados actualmente que presenten interés comercial.

Para poder acceder a dicha información se consultarán los manuales de los fabricantes de aeronaves, así como también las páginas web de las aerolíneas y de organismos relevantes para la aeronáutica nacional y mundial como la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), la Junta de Aeronáutica Civil (JAC), las distintas Autoridades Aeronáuticas de Latinoamérica, la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) entre otros.

Una vez se haya recopilado la información necesaria, se procederá a realizar el análisis comparativo (cualitativo y cuantitativo) para identificar las ventajas y desventajas del uso de aviones supersónicos en las rutas que ya son cubiertas.

Hecha la comparación, se realizará una proyección de demanda para estudiar la factibilidad económica de estas operaciones, comparando costos e ingresos.

Finalmente, se interpretarán los resultados obtenidos para evidenciar si es posible utilizar este tipo de aeronaves.

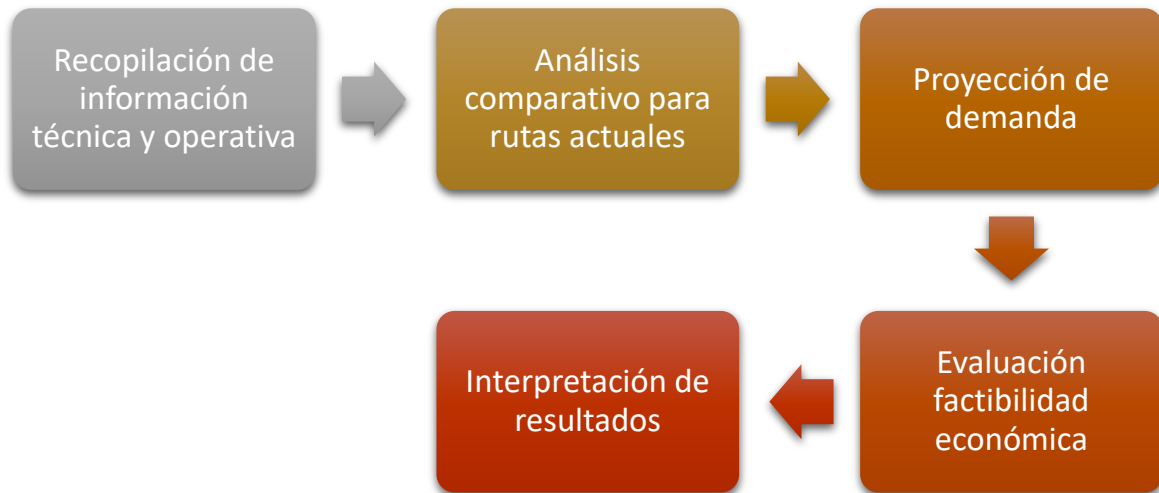


Figura 1: Metodología a seguir para llevar a cabo el estudio comparativo.

Fuente: Elaboración propia, basándose en la metodología mencionada anteriormente.

1.4 ALCANCE.

El presente trabajo investigativo presenta dos tipos de alcances, los cuales son descriptivo y exploratorio.

Inicialmente el trabajo tiene un carácter exploratorio, dado que las aeronaves supersónicas llevan 20 años fuera del mercado de la aviación comercial, además de que se trata de aviones que aún están en desarrollo, por lo que es poca la información disponible al respecto de su operatividad y resulta ser un tema novedoso para la aviación comercial actual.

Adicionalmente, posee un alcance descriptivo dado que el trabajo se centra en recopilar información precisa y veraz al respecto de las especificaciones técnicas de las aeronaves en estudio, además de información respecto a regulaciones relevantes para las operaciones y datos sobre las rutas existentes en el año del presente trabajo.

En cuanto al alcance geográfico, el estudio se centrará en 4 ciudades de la región: Santiago de Chile, Lima de Perú, Bogotá de Colombia y Recife de Brasil.

De esta manera se pretende hacer una buena cobertura de la región, ya que las ubicaciones de dichas ciudades son bastante distintas y cada una presenta puntos a favor y en contra, además, algunas de esas ciudades son considerados HUB, ya sea locales o de toda Latinoamérica.

En cuanto al alcance temporal, se tomará en cuenta un período entre el año 2000 aproximadamente (tomando en cuenta la información del Concorde) hasta el año 2040, ya que se espera que las aeronaves supersónicas entren en operación el año 2030, se extiende 10 años para poder realizar los cálculos de proyección de demanda.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.

2.1 ANTECEDENTES GENERALES.

A pesar de que este estudio trata un tema que pareciera estar en el olvido, dada la historia de los retirados aviones supersónicos, el hecho es que existen en desarrollo aeronaves que serán capaces de transportar pasajeros a una velocidad mayor que la del sonido, y que claramente tienen en consideración el fracaso que sufrieron los “SST”, o SuperSonic Transport. Es por esto por lo que se hace relevante prestar atención a estas nuevas iniciativas, el exponencial avance de la tecnología ha hecho que el mundo se vuelva cada vez más complejo, así como a su vez, ha permitido tener un mayor entendimiento de los procesos que ha desarrollado el hombre durante los últimos siglos y cuáles son las consecuencias que podrían afectar a un futuro no muy lejano si no se corrigen los procedimientos que en algún momento se pensó harían la vida más fácil.

Al considerar que durante las últimas décadas se ha hecho hincapié en concientizar el efecto de las actividades antropocéntricas, y que se han desarrollado (y siguen desarrollando) nuevas tecnologías que ayuden a limpiar el mundo de los desechos generados, es que se abre la puerta a volver a intentar comercializar una fórmula que en el pasado fue un fracaso.

Las empresas que se encuentran desarrollando las nuevas aeronaves han abrazado las preocupaciones y desafíos del mundo actual proponiendo una solución distinta y novedosa, mientras se disponen a cumplir las metas que la industria aeronáutica se ha auto impuesto a través del máximo ente regulador, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI o ICAO por sus siglas en inglés) , que a su vez fueron desarrolladas para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (ICAO, 2023).

Finalmente, y con el propósito de comprender el contexto actual por el cual atraviesa la industria aeronáutica, y, en consecuencia, poder establecer un nexo entre las necesidades y desafíos que existen, y que es lo que podría aportar el hecho de poner en servicio aeronaves comerciales del tipo supersónicas, es que se presentará a continuación una mirada

introspectiva que permita aterrizar la perspectiva global en el punto de vista de América Latina.

Se revisará brevemente la historia de la aviación y como es que se ha desarrollado para evolucionar a lo que es hoy en día, considerando todos los avances tecnológicos que han posibilitado dicha evolución, luego, para adecuarse en el contexto latinoamericano, es que se introduce su mercado aeronáutico y se explicará el impacto de la conectividad aérea en la economía de la región, para finalizar con la proposición de desafíos y oportunidades del uso de aviones supersónicos en su mercado.

2.1.1 AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA AVIACIÓN.

El transporte aéreo corresponde a la forma de transporte más joven y que más rápidamente se ha desarrollado, mostrando un vertiginoso avance en cuanto a la tecnología utilizada y las capacidades de las aeronaves, sus inicios se remontan al 17 de diciembre de 1903 cuando los hermanos Wright lograron completar el primer vuelo controlado con un vehículo autopropulsado que tuviera un peso mayor que el del aire, pero, ¿Cuál fue la impresionante hazaña que marcó un antes y un después en la industria del transporte? “tan solo” 12 segundos de vuelo y 36 metros de desplazamiento (BBC, 2018).

Cabe mencionar, que durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918) la aeronáutica dio su primer paso hacia el desarrollo acelerado, con la motivación de ganar la guerra en el aire, los países se centraron en desarrollar sus aeronaves para ser más resistentes y pudieran transportar más carga, pese a que fue con un fin bélico, comenzaban a darle forma a la industria que existe en la actualidad.

Luego, la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) fue el elemento catalizador decisivo en el desarrollo técnico de los aviones (ICAO, 2023), donde la humanidad realmente le tomó el peso a la tecnología que estaba creando, y adelantándose al gran poder de destrucción que podían generar, se realiza la convención de Chicago en el año 1944, la primera reunión entre 54 naciones que tuvo como fin sentar las bases de las normas y procedimientos de la

navegación aérea en tiempos de paz, y en conjunto, se dio lugar a la creación del organismo internacional especializado que desde entonces se encarga de su supervisión, la OACI.

Desde entonces grandes cantidades de recursos y esfuerzos han sido dedicados a mejorar las aeronaves, su aerodinámica, sus materiales relevantes en el peso del vehículo, la tecnología de la instrumentación, la eficiencia de los motores, la comodidad de las cabinas, etc.

Dicho esto y habiendo entendido el rápido avance de esta industria, es que se puede comprender que a medida que la tecnología lo permitía, más se mejoraban las aeronaves y la infraestructura que soporta la navegación y las operaciones desde el embarque hasta el desembarque de los pasajeros, y considerando que ésta industria fue capaz de mover la suma de 3,5 trillones de dólares en 2018, equivalentes al 4,1% del producto interno bruto (PIB) mundial, además, debido a la operación aérea, la industria sostiene alrededor de 87,7 millones de trabajadores, de los cuales aproximadamente 11,3 millones corresponden a trabajadores directos, incluso, si la aviación se considerara como un país en términos del PIB que genera, ocuparía el lugar décimo séptimo en el ranking de mayor a menor PIB (Aviation benefits beyond borders, 2023).

En todo caso, se debe considerar que por muy estratosféricas que parezcan estas cifras, solo se ha mencionado el lado positivo, ya que la estructura de costos que presentan los operadores aéreos son casi igual de estratosféricas que los ingresos, debido en gran parte al alto precio del combustible de aviación, por lo que al hablar de márgenes porcentuales se puede afirmar con seguridad que las aerolíneas que logran marginar en torno al 5% están siendo bien administradas financieramente y muestran un margen que se considera alto, mientras que, por ejemplo, la IATA pronostica que durante 2023 las aerolíneas serán capaces de marginar 1,2%, considerando que el tráfico aéreo aún no se ha recuperado del todo, comparado con los niveles que se tuvieron durante el año 2019 (IATA, 2023)

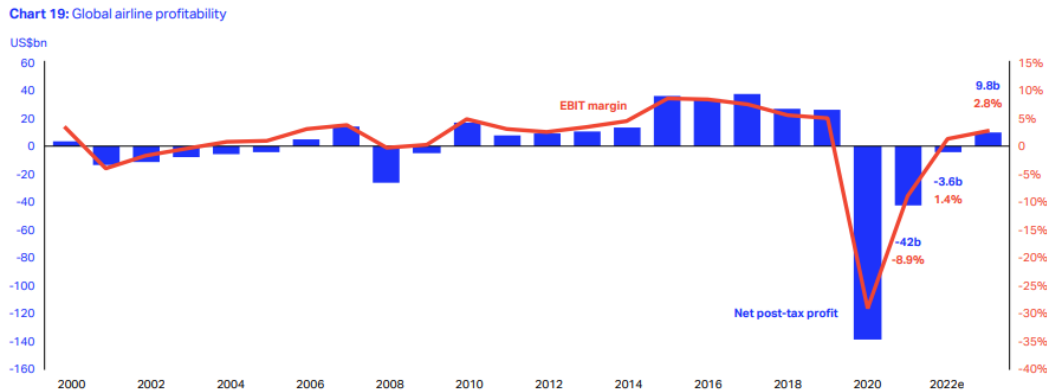
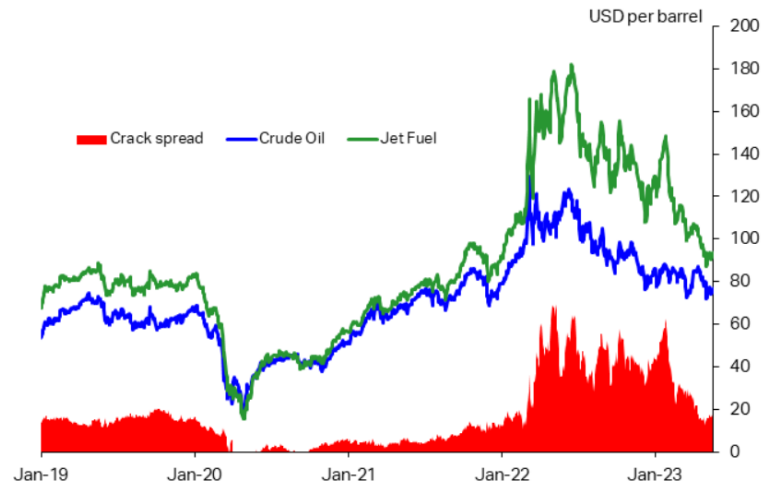


Gráfico 2: Rentabilidad de las aerolíneas mundiales antes y después de impuestos, en billones de dólares y en términos porcentuales.

Fuente: IATA.

Tal como se mencionó anteriormente, el combustible representa un gran porcentaje de los costos de las aerolíneas, más aún, considerando la inflación mundial que se ha vivido desde la recuperación del receso por la pandemia, proceso que comenzó a ocurrir durante el año 2021, en el siguiente gráfico se puede apreciar la evolución del precio del petróleo y del combustible desde 2019, llegando a un peak de 180 USD por barril aproximadamente.

Oil and Jet Fuel prices, USD/bbl



Source: IATA Sustainability and Economics, S&P Global, Macrobond

Gráfico 3: Precio de petróleo y combustible de aviación en dólares por barril.

Fuente: IATA.

Otro aspecto negativo de la actividad que se debe mencionar es la contaminación, tanto acústica como por la emisión de gases de efecto invernadero tales como óxidos nitrosos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, etc. Se debe mencionar, pero debe ser tratado con altura de miras, esto dado a que en 2018 el transporte aéreo generó 895 millones de toneladas de dióxido de carbono, que corresponde solo al 2% de los 42 billones de toneladas de CO₂ generadas por actividades humanas cada año (Aviation benefits beyond borders, 2023).

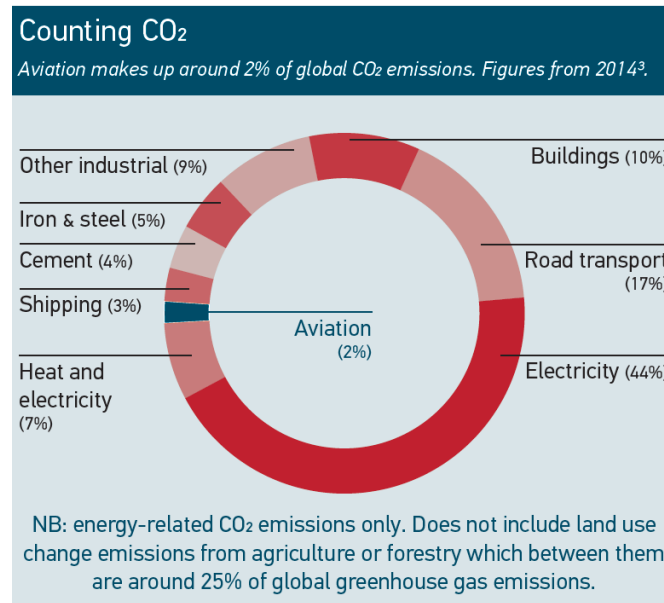


Gráfico 4: Distribución porcentual de las emisiones de CO₂ por industrias.

Fuente: (Aviation benefits beyond borders, 2014)

En términos del ruido emitido por los motores, se ha logrado reducir a la mitad los niveles de ruidos emitidos durante la última década, y es por esto por lo que se estima que cada generación nueva de aviones es como mínimo un 15% menos ruidosa que su antecesora, además, la OACI estima que la cantidad de personas expuestas a este ruido entre los años 1998 y 2004 se ha visto disminuida en un 35% (Aviation benefits beyond borders, 2023).

Estos datos dan cuenta de la preocupación del sector por ser cada vez más eficientes, reduciendo los costos operativos, pero también, disminuyendo el impacto que genera en el medio ambiente la operación del transporte aéreo, a la vez que son consecuentes con sus metas, ya que la OACI se encarga de actualizar los estándares de emisiones (de ruido y de gases) siendo cada vez más estrictos, y han propuesto en el año 2021 que para 2050 la aviación debe ser una industria que cuente con emisiones netas de carbono neutrales (Aviation benefits beyond borders, 2023), objetivo del cual toda la industria se ha hecho parte, desde los operadores aéreos hasta los constructores de las aeronaves o los motores.

Dentro de las alternativas que se han barajado para cumplir la meta de ser carbono neutrales, se encuentra el uso de biocombustibles. Los biocombustibles, bioquerosene o sustainable

aviation fuel (SAF), es un tipo de combustible derivado de fuentes orgánicas como biomasa o residuos orgánicos, pero también comprende en su espectro al combustible sintetizado a partir de fuentes renovables mediante ciclos termoquímicos, como pueden ser la luz solar o electricidad producida con fuentes renovables, y que tiene por objetivo reemplazar total o parcialmente al combustible fósil.

El SAF ha adquirido cada vez más relevancia, desde sus primeras pruebas en el año 2008, pasando por la primera vez que se usó en un vuelo comercial en 2011 (Bonilla, Lopez, & Silva, 2019), y aún más, desde que la OACI anunció que la meta de la aviación mundial es ser carbono neutrales para el año 2050, es entonces que los biocombustibles se han elevado como una buena alternativa para disminuir las emisiones de gases contaminantes y por ende, distintos estudios se han llevado a cabo para evaluar la eficiencia, costos de producción y método de producción también.

Se ha demostrado que el uso de biocombustibles puede reducir hasta en un 80% las emisiones de CO₂ comparado con el combustible fósil tradicional, una cifra bastante alentadora, sin embargo, los datos también muestran que solo el 2% de todo el combustible demandado para el año 2025 podrá ser cubierto por SAF (Aviation benefits beyond borders, 2023), demostrando que el desafío propuesto por la OACI es bastante grande y que aún falta mucho por progresar para aumentar las capacidades de producción.

Finalmente, dentro de los últimos avances tecnológicos que se han dado en la industria, se tiene la aparición de aviones supersónicos que se pretende puedan transportar pasajeros regularmente, y que claramente deben ser capaces de alinearse con los objetivos y desafíos que la industria ha impuesto, porque de lo contrario simplemente no podrían entrar en operación pues las regulaciones actuales no les permitirían obtener su certificado de aeronavegabilidad, y por lo tanto no podrían operar.

Es así como se puede apreciar el cambio en la tecnología en el poco más de un siglo de vida que tiene la aviación, dicho cambio, siempre ha ido de la mano de momentos dificultosos y grandes desafíos de la humanidad, comenzó con la guerra entre naciones, hoy en día continúa con una carrera contra el calentamiento global, y que, de paso, muchas de esas soluciones

también aportan en disminuir los costos de las empresas como un efecto secundario, pero bastante deseable.

2.1.2 INTRODUCCIÓN AL MERCADO AERONÁUTICO LATINOAMERICANO.

En términos del mercado latinoamericano, se presentará información de los mercados de los países que se considerarán en el presente estudio, para así entender cómo funcionan y comenzar a formar una idea de cómo podrían incluirse las operaciones supersónicas en cada uno.

2.1.2.1 MERCADO AERONÁUTICO CHILENO.

El mercado aeronáutico chileno cuenta con múltiples actores de diferente escala, sin embargo, son 3 las aerolíneas más grandes que se reparten la mayor cantidad del mercado nacional, a continuación, se presenta una breve descripción de cada una.

El 1 de enero de 1919, se inició, propiamente tal, la aviación comercial chilena. En esa fecha el aviador, Clodomiro Figueroa, concretó el primer correo aéreo entre la ciudad de Santiago y el puerto de Valparaíso en un frágil monoplano Morane MS-35 Parasol (Astronauticachile, 2023).

Fue durante 1924 que el empresario Luis Testart obtuvo la concesión aeronáutica dando el vamos a la Compañía de Aviación Sudamericana, la primera aerolínea que operó en el país con vuelos regulares entre Santiago y Valparaíso (Astronauticachile, 2023).

Posteriormente y de la mano de líneas postales hacia Puerto Montt y Aysén (Astronauticachile, 2023), fue que se dio paso en el año 1929 para que el comandante Arturo Merino Benítez fundara la Línea Aérea Nacional de Chile (LAN), una de las primeras líneas aéreas de Latinoamérica y que fue propiedad del estado hasta el año 1985, momento en el que pasó a ser una sociedad anónima (habiéndose ya consolidado con rutas internacionales hacia Lima, Buenos Aires, Miami, etc.). Posteriormente, durante el año 2012 LAN cierra el

acuerdo de fusión con la aerolínea brasileña TAM, dando origen al actual Latam Airlines Group (Latam Airlines Group, 2023).

Durante el año 2002 se fundó la aerolínea SKY, conocida por haber competido con el gigante LAN de aquellos años y por ser la empresa que introdujera el modelo de negocios “low cost” en Chile en el año 2015, pero que materializaría en el año 2017 (Departamento de Aeronáutica, Universidad Técnica Federico Santa María, 2017).

La última aerolínea que copa el mercado nacional es Jetsmart, compañía que forma parte del fondo de inversiones “Indigo Partners”, y que fue introducida en Chile durante el año 2017 con su modelo de negocios “ultra low cost”, prometía ofrecer pasajes a un precio hasta 35% más barato que lo que se ofrecía en el mercado en ese momento. (Departamento de Aeronáutica, Universidad Técnica Federico Santa María, 2017).

Ambas aerolíneas con modelo “low cost” iniciaron sus operaciones el mismo año, y sin lugar a duda revolucionaron el mercado chileno y de la región, han logrado compartir grandes porciones del mercado frente a la creciente demanda que se presentaba de forma regular hasta el año 2020, a continuación, se muestra una infografía que da cuenta de la participación de mercado de cada aerolínea y un gráfico que muestra la evolución de la cantidad de pasajeros transportados entre 2014 y julio de 2024.

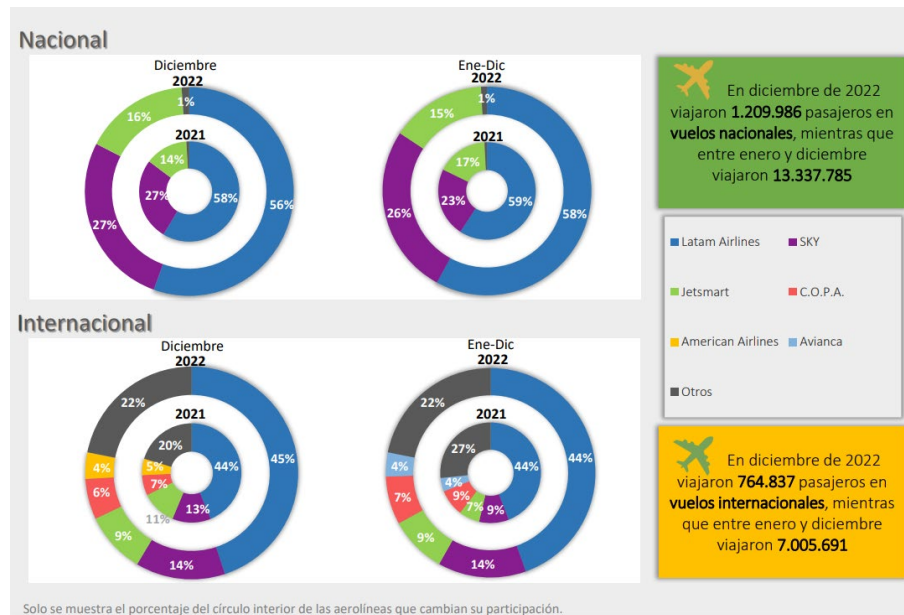


Figura 2: Participación del mercado de aerolíneas-pasajeros durante el año 2022.

Fuente: JAC (Junta de Aeronáutica Civil, 2023)

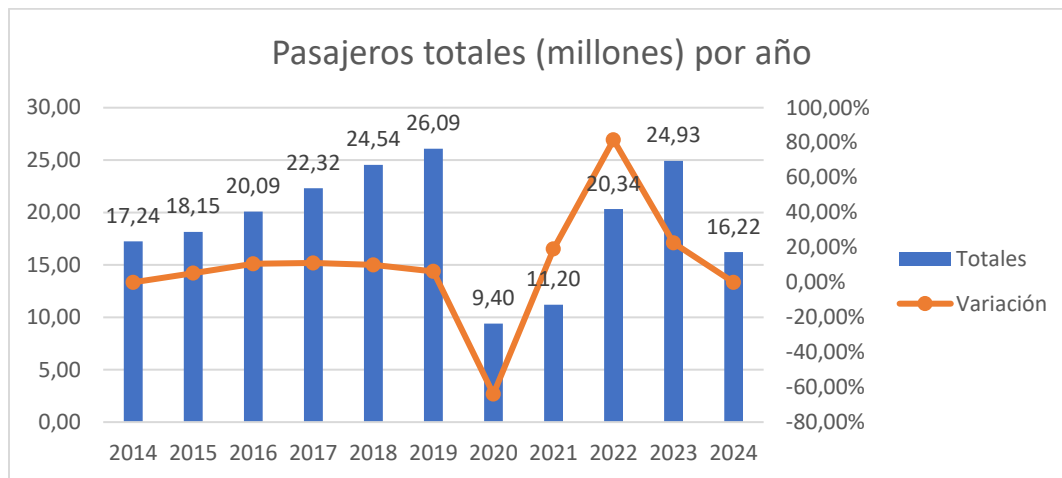


Gráfico 5: Pasajeros por año entre 2014 y julio de 2024, en conjunto con la variación anual.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la JAC.

De esta manera se puede concluir que el mercado aeronáutico chileno estaba experimentando un crecimiento sostenido en los años previos a la pandemia del 2020, y desde el 2022 que muestra recuperación de los niveles de pasajeros transportados en 2019, además, tan solo 3 aerolíneas concentran prácticamente la totalidad de pasajeros y carga transportada hablando

en términos de cabotaje, lo que muestra claramente una competencia imperfecta del tipo oligopolio, pero sin lugar a dudas en la actualidad es más competitiva que antes, por ejemplo, en el año 2009 LAN Chile acaparaba el 80% del mercado nacional mientras que SKY Airline apenas el 18,5% (Junta de Aeronáutica Civil, 2009).

En términos del material aeronáutico que prima en el mercado chileno, está cubierto casi en su totalidad por aeronaves de corto alcance del constructor Airbus, siendo todos pertenecientes a la familia A320. Únicamente Latam posee diferencias en la flota, operando también aeronaves Boeing 787.

Cabe mencionar finalmente que la posición geográfica de Chile (cono sur de Latinoamérica, ubicado entre la costa del océano pacífico y la cordillera de los Andes, entre las latitudes 17° 30' y 56° 30' sur, limita al norte con Perú, al este con Bolivia y Argentina y al sur con el Polo Sur, el territorio antártico chileno (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023)) no es muy conveniente desde el punto de vista de generar conectividad entre destinos diferentes teniendo un aeropuerto que funcione como un HUB, Chile no cuenta con la ubicación privilegiada que tienen países de la región como Perú, Colombia, Brasil o Panamá, pero, de todas maneras, el mercado regional tiene proyecciones prometedoras de crecimiento y es un hecho que también beneficiaría a Chile, a continuación un gráfico con proyección de demanda de largo plazo.

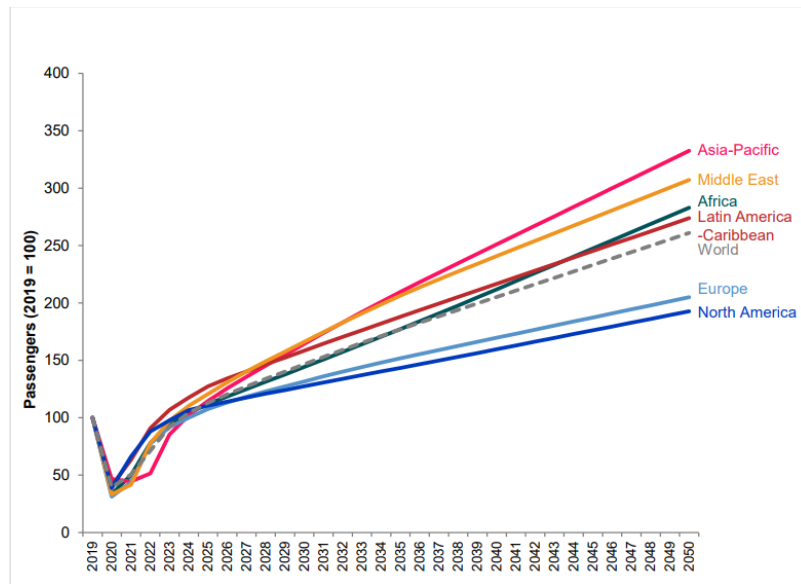


Gráfico 6: Proyección de largo plazo (2019-2050) considerando los efectos de la pandemia.

Fuente: ACI (Airports Council International, 2022)

2.1.2.2 MERCADO AERONÁUTICO PERUANO.

En el caso del mercado aeronáutico peruano, similar al de Chile, son 4 las aerolíneas grandes que comparten la mayor distribución del mercado, incluso, tres de ellas son filiales de empresas chilenas.

A continuación, se muestra la distribución del mercado aeronáutico peruano durante el año 2024.

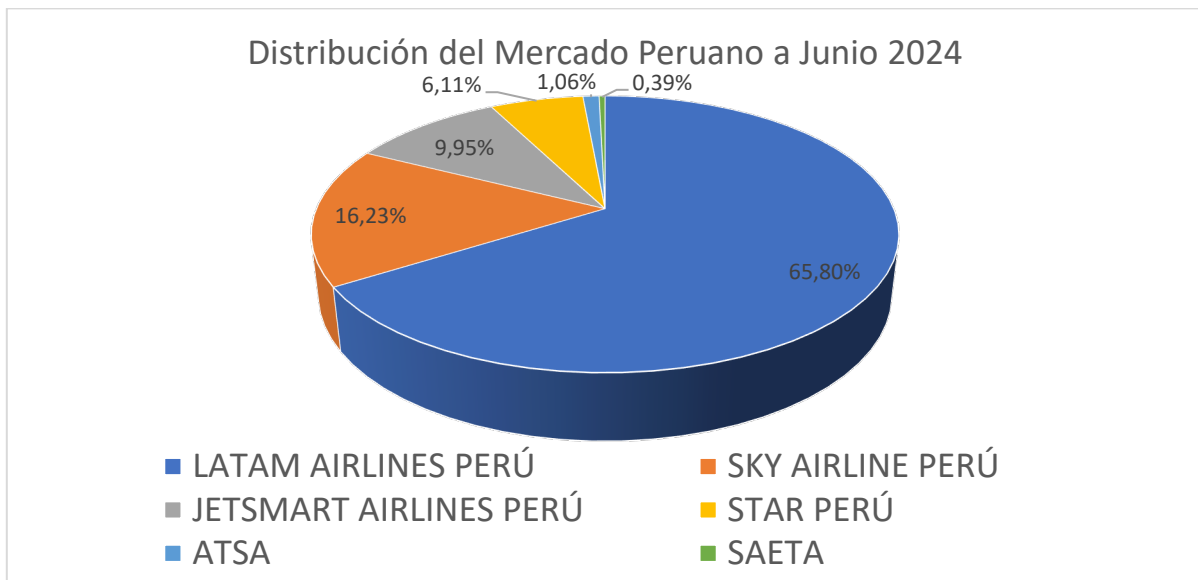


Gráfico 7: Distribución del mercado aeronáutico peruano, de enero a junio 2024

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la DGAC Perú.

Cabe mencionar, que las 3 aerolíneas que más pasajeros han transportado durante 2024 son las filiales de las aerolíneas chilenas que comparten el mismo ranking en Chile, incluso, mantienen las mismas posiciones.

Esto da cuenta de que el mercado aeronáutico peruano sufre la misma falla que el chileno, lo comprende un Oligopolio.

En términos del tamaño del mercado, se pueden apreciar las estadísticas desde el año 2014 a junio de 2024, a continuación, el gráfico:

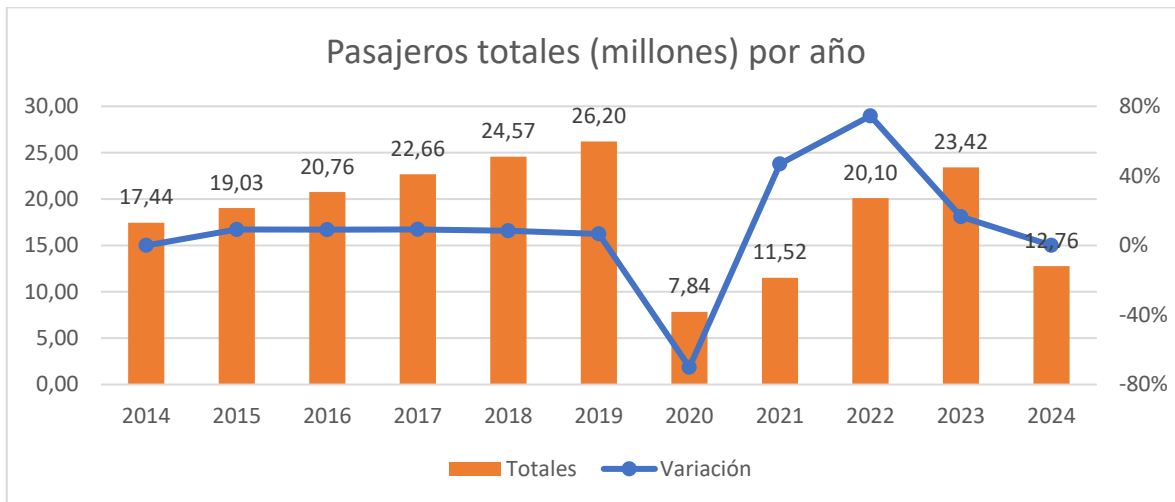


Gráfico 8: Pasajeros totales transportados (en millones) desde el año 2014 a junio del 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de DGAC Perú.

Al observar el gráfico anterior, se ve una tendencia muy parecida a lo que mostraba el mercado aeronáutico chileno, esto es, un crecimiento sostenido en los años previos a la pandemia, incluso, muestran una totalidad de pasajeros transportados por año bastante similar, por lo que se puede decir que ambos son mercados que se asemejan bastante en su tamaño.

Las diferencias se aprecian al tener en cuenta la ubicación geográfica del Perú, y específicamente, la de su aeropuerto principal, el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez de Lima, el cual si puede funcionar mucho mejor como un HUB de Latinoamérica que el aeropuerto de Santiago de Chile, más aún, considerando que en la región reinan las aeronaves de corto alcance, Lima tiene muchas mejores ubicaciones a las cuales puede llegar comparado con Chile, por lo que naturalmente conecta su ciudad principal en vuelos directos que las aerolíneas operando desde Santiago no pueden realizar, a menos que se trate de un avión de largo alcance. He ahí la principal diferencia del mercado peruano con el chileno.

2.1.2.3 MERCADO AERONÁUTICO COLOMBIANO.

El mercado aeronáutico colombiano presenta una estructura diferente a lo que se observa en el chileno y el peruano, presenta una mayor variedad de destinos, una mayor variedad de aerolíneas y por consecuencia, tiene más pasajeros transportados al año.

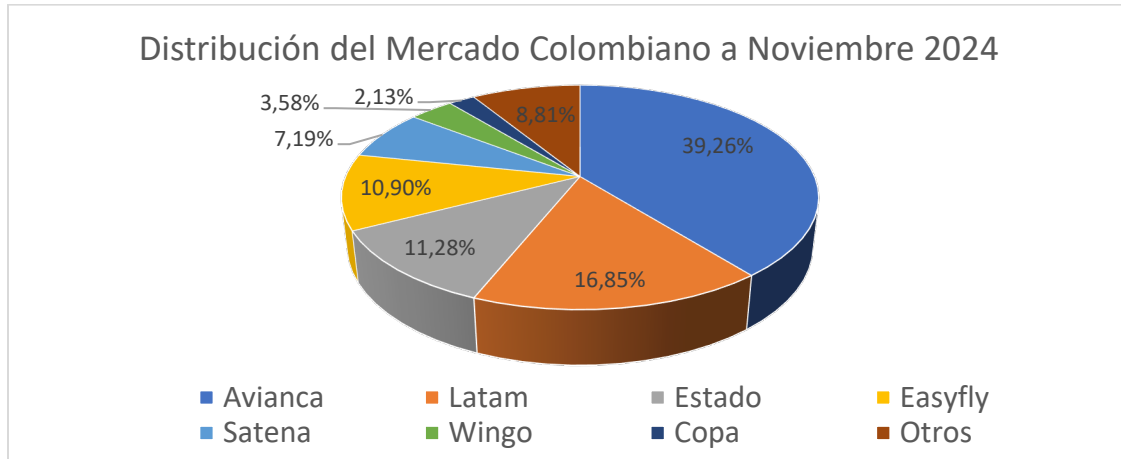


Gráfico 9: Distribución del mercado aeronáutico colombiano, de enero a noviembre 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la AAC de Colombia.

Resulta interesante evidenciar que en este mercado existe mayor competencia, pese a que claramente Avianca es la aerolínea dominante acaparando casi el 40%, existe más competencia por el 60% restante que, en los mercados mencionados antes, resaltando claramente que el mercado colombiano es uno mucho más grande y desarrollado, existe una mayor cantidad de aerolíneas que poseen buenas porciones de este.

Ahora bien, en cuanto al tamaño del mercado expresado en cantidad de pasajeros, se aprecia el siguiente gráfico:

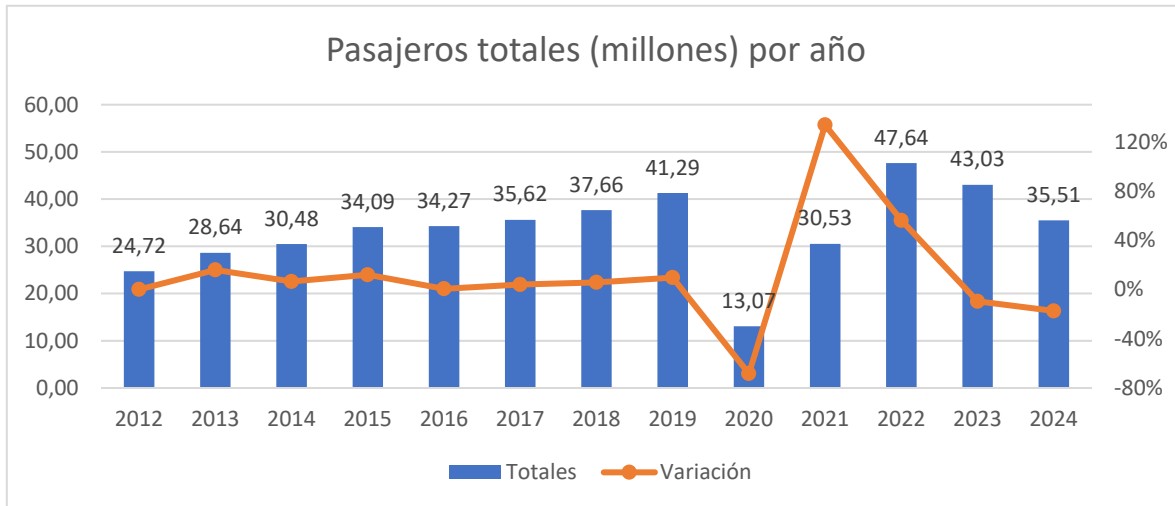


Gráfico 10: Pasajeros transportados desde el año 2012 a septiembre del 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la AAC de Colombia.

Es observable el crecimiento constante que mantenía en la cantidad de pasajeros transportados, hasta la abrupta caída en 2020 a causa de la pandemia por COVID. Sin embargo, en 2022 ya fue capaz de superar la cantidad de pasajeros transportados en 2019, evidenciando una recuperación total. El 2024 aparece con una disminución “notable” pero aún falta tiempo para que termine ese período, por lo que los datos de ese año pueden ser considerados como preliminares.

En sus mejores años el mercado aeronáutico colombiano casi dobla en tamaño a los mercados chileno y peruano, resaltando la condición de HUB latinoamericano que posee Colombia.

2.1.2.4 MERCADO AERONÁUTICO BRASILEÑO.

Conservando cierta similitud con el mercado colombiano, el mercado aeronáutico brasileño exhibe también gran variedad de operadores, tanto en su mercado doméstico como en el internacional, con lo cual posee más rutas y más pasajeros que todos los demás mercados mencionados, a continuación, un detalle de la distribución del mercado:

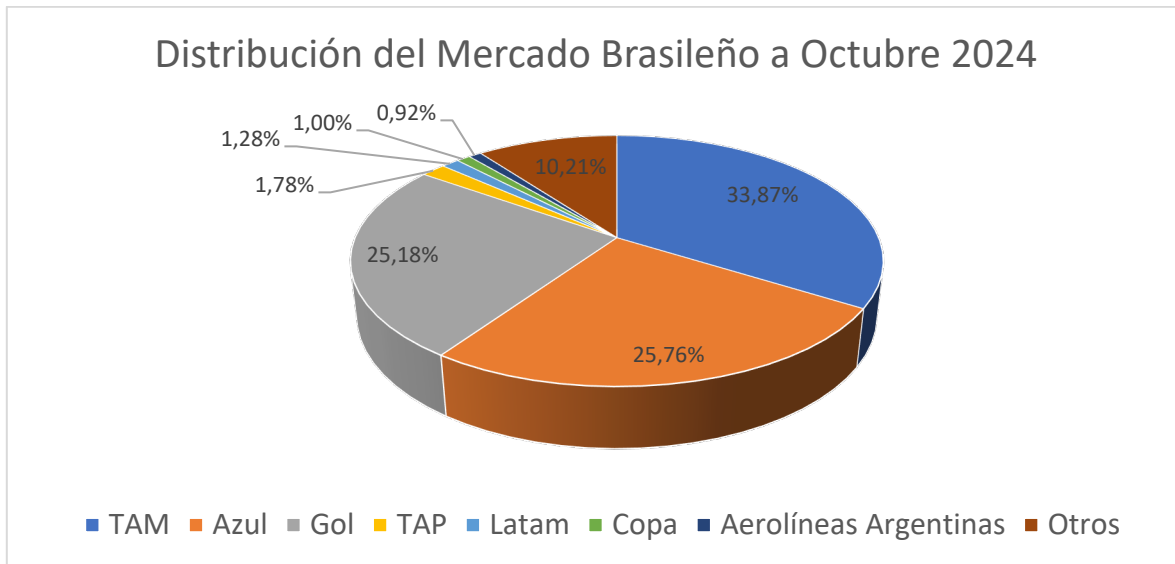


Gráfico 11: Distribución del mercado aeronáutico brasileño, de enero a octubre 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la AAC de Brasil.

En este caso, son 3 las aerolíneas que cubren aproximadamente el 85% del mercado, poseen gran porcentaje de participación ya que cubren más de tres cuartas partes de este, sin embargo, se debe mencionar que el 15% restante si está repartido entre varios otros operadores, los que en su mayoría representan parte de la cuota de mercado internacional, teniendo ejemplos como American Airlines, United, Air France, Aerolíneas Argentinas, SKY Airlines, entre otros. No es tan competitivo como el colombiano, pero definitivamente si es más competitivo que el chileno y el peruano.

Al expresar el tamaño del mercado, en términos de la cantidad de pasajeros transportados año a año se tiene la siguiente información:

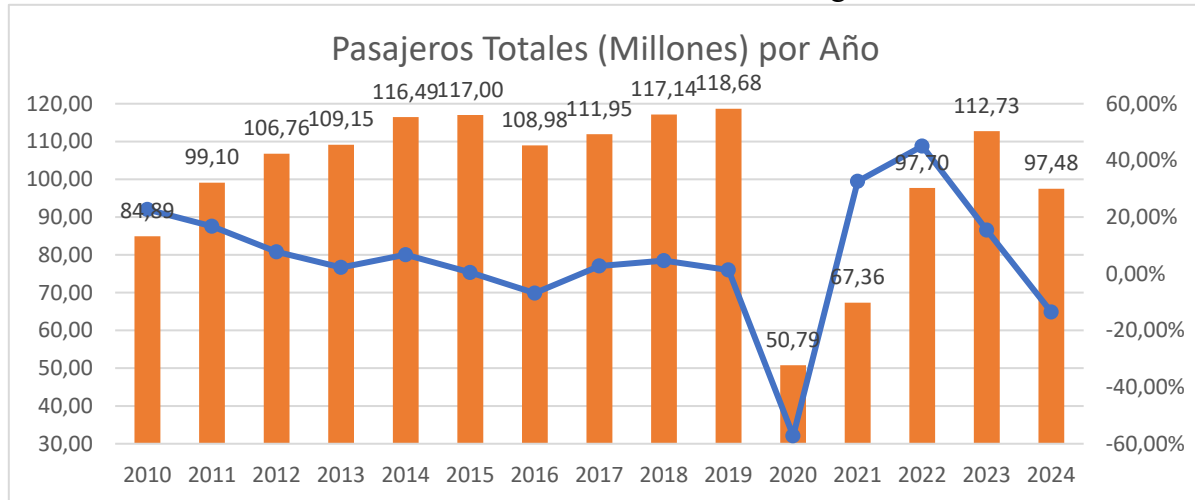


Gráfico 12: Pasajeros totales transportados (en millones) desde el año 2010 a octubre del 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la AAC de Brasil.

Es sencillo identificar a primera vista que este es el mercado más grande de todos los contemplados anteriormente, llegando incluso a triplicar o cuadruplicar en algunos años al mercado aéreo colombiano. Se debe tener en consideración que Brasil es el país más grande de toda latinoamérica, llegando incluso a abarcar aproximadamente la mitad de todo el territorio de Sudamérica, adicionalmente, también es el que cuenta con la mayor población de América Latina, lo que ayuda a explicar por qué su mercado aeronáutico es tan grande.

Además, su posición geográfica también le permite servir como punto de conexión entre sudamérica y África o Europa, por lo que al igual que Colombia, es capaz de funcionar como un HUB del continente, debido a su posición.

Finalmente, de igual forma que en los casos anteriores, en términos generales el mercado brasileño también experimentaba un crecimiento constante, el cual se vio truncado por la pandemia por Covid, sin embargo, alcanzó niveles “normales” de transporte de pasajeros en 2023.

2.1.3 IMPACTO DE LA CONECTIVIDAD AÉREA EN EL DESARROLLO ECONÓMICO DE LATINOAMÉRICA.

Bien es sabido que la conectividad aérea es beneficiosa para la economía de los países, tal como se mencionó anteriormente, la aeronáutica produce enormes sumas de dinero por su actividad en todo el mundo, ya sea que se trate por viajes de negocios, de esparcimiento, vuelos de transporte de carga, trabajos aéreos variados (reconocimiento de terrenos, fotogrametría, fumigación/polinización, ambulancias aéreas, etc.), e incluso para poder realizar las operaciones se deben involucrar otras industrias y movilizar una gran cadena de eslabones (Constructores de aeronaves que a su vez trabajan con sus propios proveedores de piezas y partes para ensamblar las aeronaves, refinerías y distribuidores de combustible, prestadores de los servicios “ground handling”, prestadores de servicios informáticos para las aerolíneas, administradores de aeropuertos, encargados de mantener y gestionar las radioayudas para la navegación, distribuidores de cartas de navegación consolidadas de los Estados para facilitar su uso, etc.) que aportan para que la actividad sea llevada a cabo con éxito, puntualidad y seguridad. Anteriormente se informó que en un periodo específico logró aportar con 4 puntos del PIB mundial, pero ¿De qué forma aporta la aviación comercial al desarrollo económico de Latinoamérica?

La aviación es un facilitador económico muy importante para el mundo y la región, así lo expresan las estadísticas mostradas por distintas organizaciones mundiales. En 2014 la aviación aportó con más de 167 mil millones de dólares al PIB de América Latina y el Caribe, lo cual equivale al 2,7%, y generó 5,2 millones de empleos directos e indirectos, todos estos factores en conjunto constituyen efectos multiplicadores en la economía, sin embargo, según CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), para que realmente se aprovechen todos los beneficios que podrían obtenerse de la industria y todo lo que genera, los gobiernos de la región debieran poner en práctica una serie de políticas que le permitan al transporte aéreo crecer facilitando su desarrollo (Wiltshire & Jaimurzina, 2017).

Por otra parte, durante 2018 el transporte aéreo generó 7,6 millones de empleos y aportó con 187 mil millones de dólares en América Latina y el Caribe, datos que se traducen en un 2,7% de todos los empleos y 3,5% del PIB de la región (Aviation Benefits Beyond Borders, 2020).

Los datos expuestos dan cuenta del crecimiento de la industria en la región y del impacto en el desarrollo económico que tiene el transporte aéreo.

Anteriormente se mostraron datos de la región en general, a continuación, se exponen los casos específicos de los países contemplados en el estudio.

Durante 2023, La IATA realizó una serie de estudios, denominados “El Valor del Transporte Aéreo”, el cual fue realizado para distintos países. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los países de interés de este estudio, en donde la IATA evalúa de 3 formas el impacto económico del transporte aéreo: el empleo, el gasto generado por las aerolíneas y su cadena de suministro, los flujos de comercio, turismo e inversión resultantes de los usuarios de todas las aerolíneas que operan en el país, y las conexiones de pares de ciudades que hacen posible estos flujos. (IATA, 2023).

Respecto al valor de la aviación en Chile, la IATA expone lo siguiente:



Figura 3: Aporte del transporte aéreo a Chile en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.

Fuente: (IATA, 2023)

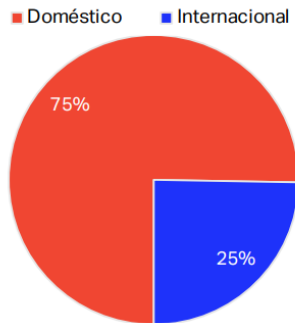
Los 212.000 empleos que son sustentados por el transporte aéreo en Chile se pueden desagregar de la siguiente manera: 56.700 empleos son generados de forma directa por el sector. Al comprar bienes y servicios a proveedores locales el transporte aéreo sustenta 211.900 puestos de trabajo. Finalmente, se estima que los turistas que llegaron a Chile por vía aérea y que gastaron su dinero en la economía nacional podrían sustentar otros 35.300 puestos de trabajo.

Al observar el aporte en términos del PIB, aquel 2,3% se desglosa en dos componentes, el primero corresponde al aporte directo de la industria; aerolíneas, fabricantes, operadores aeroportuarios, proveedores de servicios de navegación, cadena de suministro y gasto de empleados. Este componente totaliza USD 2,1 mil millones. Otros beneficios son generados por la cadena de suministro en general y el gasto de los empleados, los que aportan los restantes USD 5,8 mil millones, que en conjunto aportaron el 2,3% del PIB, es decir, USD 7,9 mil millones. Finalmente, se estima que los turistas internacionales aportan a Chile USD 3,5 mil millones anuales.

Los beneficios más importantes del transporte aéreo van a los pasajeros y transportistas a través del impacto en sus negocios. El valor para los pasajeros, los transportistas y la economía se aprecia a partir del gasto de los turistas extranjeros, alcanzando la suma de USD 3.500 millones, Y el valor de las exportaciones, en 2023 se transportaron 477.100 toneladas de carga aérea.

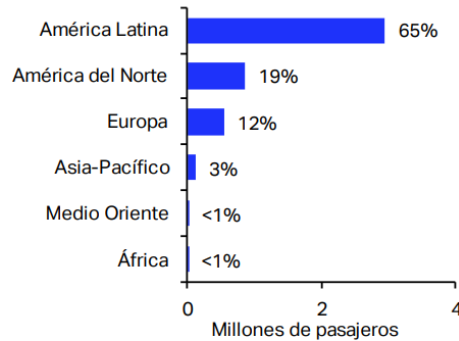
La conectividad aérea es fundamental para desbloquear el potencial de crecimiento económico y la prosperidad de un país; permite a las industrias de todas las regiones del país participar en una actividad comercial dinámica. El alcance de la conectividad nacional e internacional es un facilitador y un acelerador tanto de la generación como de la distribución de beneficios económicos (IATA, 2023).

Salidas de pasajeros O-D (origen-destino) nacionales e internacionales, % de participación



Fuente: IATA DDS, 2023

Salidas internacionales de pasajeros O-D (origen-destino) desde Chile a regiones



Fuente: IATA DDS, 2023

Nota: América Latina incluye América del Sur, Central y el Caribe.

Gráfico 13: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Chile en 2023.

Fuente: (IATA, 2023).

El gráfico de la izquierda muestra una clara predominancia de destinos domésticos frente a los internacionales desde Chile, acaparando $\frac{3}{4}$ del total de pasajeros.

En el gráfico de la derecha se aprecia que los destinos internacionales más recurrentes desde Chile se dan en América Latina (2,9 millones de pasajeros), Norteamérica (862.300 pasajeros) y Europa (549.100 pasajeros) respectivamente.

Para el Perú, la IATA muestra la siguiente información:



Figura 4: Aporte del transporte aéreo al Perú en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.

Fuente: (IATA, 2023)

En el caso del Perú, 364.000 son los empleos que aporta el transporte aéreo, de los cuales, 36.100 son generados de manera directa por la industria. Los 328.300 restantes son aportados por la cadena de suministro, el gasto de empleados de la industria y las actividades turísticas.

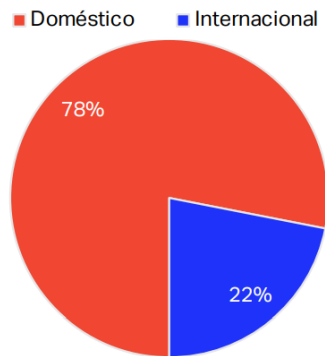
Finalmente, se estima que los turistas que llegan a Perú por vía aérea pueden sustentar 155.400 empleos, al gastar su dinero en la economía local.

Respecto a los 6,2 mil millones de dólares contribuidos al PIB del Perú, se puede decir consecuentemente que la mayor parte se atribuye la cadena de suministro y actividades turísticas, quienes aportaron con 5,3 mil millones de dólares aproximadamente. Mientras que la industria de manera directa aportó los restantes 942,8 millones.

Además, se estima que los turistas internacionales aportan al Perú con 3,5 mil millones de dólares anuales, poco menos de la mitad de lo que aporta el transporte aéreo como sector.

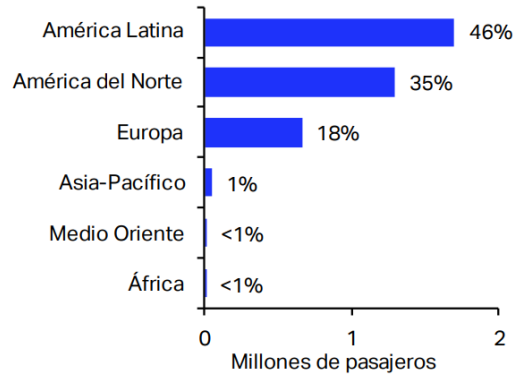
Entonces, se puede cerrar el aporte de la aviación al Perú, mencionando que sustenta el 2,3% del PIB, por la industria directamente y por los extranjeros que llegan vía aérea (IATA, 2023).

Salidas de pasajeros O-D (origen-destino) nacionales e internacionales, % de participación



Fuente: IATA DDS, 2023

Salidas internacionales de pasajeros O-D (origen-destino) desde Perú a regiones



Fuente: IATA DDS, 2023

Nota: América Latina incluye América del Sur, Central y el Caribe.

Gráfico 14: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Perú en 2023.

Fuente: (IATA, 2023)

El gráfico de la izquierda, muy similar al caso de Chile, muestra una clara superioridad en los destinos domésticos frente a los internacionales, acaparando el 78% del total de pasajeros de Perú.

El gráfico de la derecha sigue la misma tendencia que en el caso de Chile, los mayores destinos internacionales desde Perú están dentro de América Latina (1,7 millones de pasajeros), Norteamérica (1,3 millones de pasajeros) y Europa (659.400 pasajeros) respectivamente.

Respecto a Colombia, la IATA presenta la siguiente información:



Figura 5: Aporte del transporte aéreo a Colombia en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.

Fuente: (IATA, 2023)

En Colombia, existieron 86.900 empleos sustentados directamente por el transporte aéreo, mientras que los restantes 833.900 empleos son aportados por la cadena de suministro, el gasto de los empleados de la industria y las actividades turísticas.

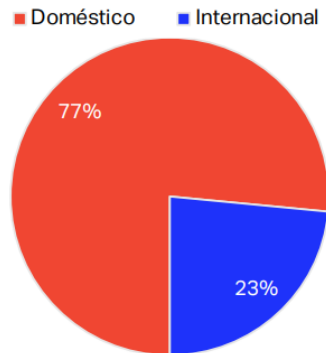
Finalmente, se estimó que los turistas que arribaron a Colombia por vía aérea promovieron 598.200 empleos adicionales.

En términos del aporte monetario, el transporte aéreo aportó con 15,5 mil millones de dólares al PIB, los cuales se dividen asignando 3 mil millones de dólares a la industria misma, y los restantes 12,5 mil millones los aporta, igual que en el caso de los empleos, la cadena de suministro, el gasto de los empleados y las actividades turísticas.

Además, se estima que los turistas extranjeros aportaran a Colombia 9,1 mil millones de dólares anuales.

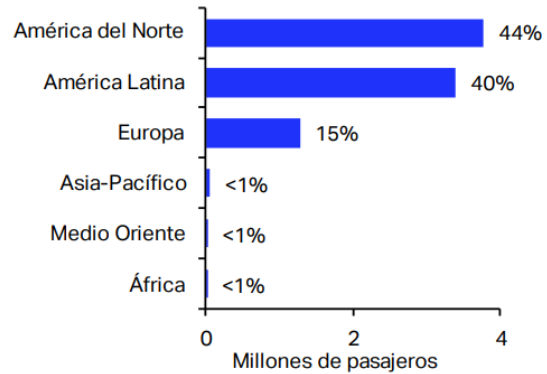
Todo este aporte al PIB corresponde al 4,3% de la actividad económica de Colombia (IATA, 2023).

Salidas de pasajeros O-D (origen-destino) nacionales e internacionales, % de participación



Fuente: IATA DDS, 2023

Salidas internacionales de pasajeros O-D (origen-destino) desde Colombia a regiones



Fuente: IATA DDS, 2023

Nota: América Latina incluye América del Sur, Central y el Caribe.

Gráfico 15: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Colombia en 2023.

Fuente: (IATA, 2023)

En el gráfico de la izquierda, similar que en los dos casos anteriores, se aprecia que la mayor parte de los pasajeros de Colombia vuelan a destinos domésticos, los destinos internacionales que solo acaparan el 23% movilizaron un total de 8,6 millones de pasajeros.

En el gráfico de la derecha se aprecian los destinos más recurrentes desde Colombia, en este caso se destaca la diferencia con los casos anteriores, Norteamérica aparece como la región con mayor pasajeros (3,8 millones de pasajeros), luego le sigue América Latina (3,4 millones de pasajeros) y finalmente Europa (1,3 millones de pasajeros) respectivamente.

Finalmente, para Brasil la IATA expone la siguiente información:

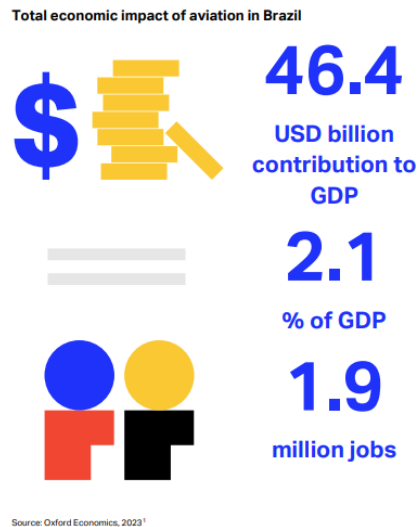


Figura 6: Aporte del transporte aéreo a Brasil en términos de cantidad de empleos, además de valor agregado al PIB.

Fuente: (IATA, 2023)

En Brasil, el transporte aéreo con su actividad, aerolíneas, aeropuertos, tiendas de aeropuertos, fabricantes de aeronaves y proveedores de servicio de navegación aérea aportaron sustentando 246.800 puestos de trabajo. Al considerar la cadena de suministros que se produce al comprar bienes o servicios, el gasto de los empleados de la industria y las actividades turísticas se sustentaron aproximadamente 1,7 millones de empleos más, alcanzando en su conjunto los 1,9 millones de empleos aportados por el sector.

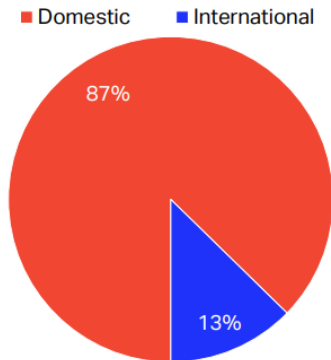
Más aún, el gasto en que incurren los turistas extranjeros que arriban por vía aérea aportó sustentando otros 310.000 puestos de trabajo.

Hablando en términos monetarios, el transporte aéreo aportó un total de 46,4 mil millones de dólares a la economía brasileña, de los cuales 10,3 mil millones son atribuibles a la actividad de la industria, mientras que los restantes 36,1 mil millones de dólares se asignan a la cadena de suministros, el gasto de los empleados y las actividades turísticas.

Además, se estima que los turistas extranjeros aportan a Brasil con 6,8 mil millones de dólares anualmente.

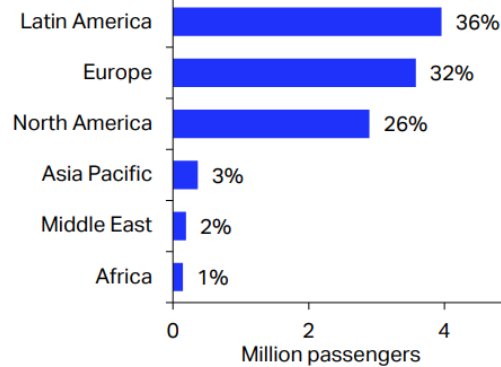
Finalmente, todo ese aporte representó 2,1% del PIB de la economía brasileña (IATA, 2023).

Domestic and international O-D passenger departures, % share



Source: IATA DDS, 2023

International O-D passenger departures from Brazil to regions



Source: IATA DDS, 2023

Note: Latin America includes South and Central America & the Caribbean.

Gráfico 16: Gráficos segregados en salidas origen destino nacionales e internacionales desde Brasil en 2023.

Fuente: (IATA, 2023)

En el gráfico de la izquierda, al igual que en todos los casos estudiados marcando una tendencia, se aprecia que la mayor parte de los pasajeros de Brasil vuelan a destinos domésticos, los destinos internacionales que solo acaparan el 13% movilizaron un total de 11,1 millones de pasajeros, demostrando la diferencia en tamaño de mercados, ya que se tiene el porcentaje más bajo pero la mayor cantidad de pasajeros internacionales.

En el gráfico de la derecha se aprecian las regiones más explotadas desde Brasil, en este caso nuevamente se ve diferente el listado, ya que América Latina es la región más visitada (4,0 millones de pasajeros), luego le sigue Europa (3,6 millones de pasajeros) y finalmente Norteamérica (2,9 millones de pasajeros) respectivamente.

Con estos informes de la IATA, se observa claramente el aporte que hace el transporte aéreo a la economía de Latinoamérica, ya sea directa o indirectamente, es capaz de extender su influencia mucho más allá de solo los vuelos como tal, y es por eso que es sumamente importante aumentar la conectividad de cada país, hacer los destinos más llamativos para negocios o para turismo ya que si aumentan los viajes, es decir los pasajeros o la carga, aumentan consecuentemente indicadores económicos importantes para las naciones.

2.2 MARCO TEÓRICO.

El desarrollo y la implementación de aviones supersónicos han sido objeto de interés en la industria de la aviación desde que se completó el primer vuelo supersónico de la historia. Estos aviones, capaces de volar a velocidades que superan la barrera del sonido, presentan la capacidad de reducir significativamente los tiempos de vuelo en rutas aéreas de larga distancia. Sin embargo, su implementación plantea una serie de desafíos que deben ser abordados de manera integral y exhaustiva.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio comparativo del uso de aviones supersónicos en rutas existentes y nuevas desde ciudades estratégicas de Latinoamérica. Para ello, se desarrollará un marco teórico que abarcará diversos aspectos para comprender los desafíos técnicos, económicos, comerciales y ambientales asociados con la incorporación de esta tecnología en la aviación comercial, y contrastarlos con la experiencia existente del avión comercial supersónico retirado.

En primer lugar, se explorarán los fundamentos del espectro supersónico, centrándose en la velocidad y la aerodinámica. Se analizarán los conceptos relacionados con la generación y control de ondas de choque, la resistencia al avance y el rendimiento a altas velocidades. Este análisis permitirá comprender las características únicas de los vuelos supersónicos y los retos técnicos inherentes a la operación de aviones en régimen supersónico.

Posteriormente, se realizará una revisión histórica de la aviación supersónica, desde el primer vuelo hasta los avances tecnológicos más recientes. Se destacarán hitos importantes como el primer vuelo supersónico y el desarrollo del icónico avión Concorde, así como también, se analizarán los factores que han impactado y eliminado los vuelos supersónicos comerciales. Además, se revisarán las iniciativas actuales para revivir esta forma de transporte aéreo.

A continuación, se examinará el impacto económico y comercial del uso de nuevos aviones supersónicos. Se evaluarán aspectos como la demanda de vuelos supersónicos, los costos operativos, los beneficios esperados y las implicaciones para el turismo, el comercio y la

conectividad global. Este análisis proporcionará una visión integral de los aspectos comerciales y económicos que rodean a la aviación supersónica.

En conjunto, este marco teórico sentará las bases para el análisis comparativo y para el estudio de posibles nuevas rutas directas comercialmente atractivas. Permitirá un estudio de los aspectos técnicos, económicos y comerciales asociados con la implementación de esta tecnología, y dará sustento para el análisis y la evaluación de los resultados obtenidos en la investigación.

2.2.1 ESPECTRO SUPERSÓNICO: VELOCIDAD Y AERODINÁMICA.

El espectro supersónico se refiere a velocidades de vuelo que superan la velocidad del sonido en el aire, quizás puede sonar como una hazaña trivial, dado que durante los últimos años se han popularizado bastante las misiones hacia el espacio exterior, ya sea con naves tripuladas o no. Sin embargo, romper la barrera del sonido trae consigo consecuencias, una de ellas y la más conocida es la onda de choque oblicua, famosa por ser un espectáculo visual admirable y por realizar tremendas emisiones de ruido mientras los aviones apenas logran observarse, tan sorprendente es el ruido que se genera, parecido a una explosión, que los vuelos supersónicos están prohibidos sobre áreas pobladas pues causan una contaminación acústica enorme.

En aviación es muy conocido el “número Mach”, el cual hace referencia al cociente entre la velocidad que posee un objeto, en este caso el avión, y la velocidad del sonido bajo esas mismas condiciones (Dado que la velocidad del sonido a nivel del mar es de 1117 pies por segundo, es decir, aproximadamente 340 metros por segundo (NASA; Anderson, John D., 2001), se menciona a nivel del mar, porque la velocidad del sonido en la Tierra depende del aire para su propagación. El aire se ve afectado en su composición por características meteorológicas, así como también, por la altitud a la que se mida la velocidad, a mayor altitud menor es la velocidad del sonido ya que menor es la densidad del medio material por el cual se propagan las ondas del sonido, el aire), así, por ejemplo, una aeronave que vuela con un

número Mach de 0,75 significa que se desplaza al 75% de la velocidad del sonido, o tres cuartas partes de esta. Y una aeronave que se desplaza a Mach 2,0 tiene el doble de velocidad que el sonido.

Mientras el vuelo es subsónico (bajo la velocidad del sonido) no existe ningún problema para la aeronave, pero mientras el indicador de velocidad muestre valores cercanos al Mach 1 comienza a cambiar la aerodinámica y el control del avión, ocurre que por la posición de los instrumentos medidores y errores en los cálculos que realizan, cuando se indica una velocidad muy cercana al Mach 1 existen partes de la estructura de la aeronave que ya se encuentran volando con la velocidad del sonido, fenómeno conocido como número Mach crítico de la aeronave. Por ejemplo, el borde de ataque del ala lleva una velocidad de Mach 0,9, pero en una parte central de la superficie superior del ala el flujo de aire se aceleró (por el paso del ala y el principio de generación de sustentación) y alcanza la velocidad Mach 1, momento en el que aparece un fenómeno que cambia el comportamiento de la aeronave, la compresión del aire, generando la coexistencia de flujo subsónico y flujo supersónico.

Para velocidades bajo la velocidad del sonido se asume que el aire es incompresible, para facilitar su estudio y los cálculos que se requieran realizar dado que la compresibilidad que muestra es muy pequeña, por lo que se desprecia. Sin embargo, cuando el avión alcanza la velocidad del sonido se evidencia visualmente la compresibilidad del aire al aparecer la onda de choque oblicua. Las consecuencias de la aparición de la onda de choque van más allá que solo un gran ruido y un espectáculo visual, el aire que se encuentra por detrás de la onda de choque lleva una presión mayor y por lo tanto mayor temperatura, se vuelve extremadamente turbulento por lo que aumenta la resistencia al avance, además, mientras más acelere el avión, la posición de la onda de choque en el ala se irá retrasando hacia el borde de fuga. Al llegar la onda de choque a las cercanías de los controles del avión estos comienzan a perder efectividad y se produce un “golpeteo” en la estructura de la aeronave (buffeting) (Barrenechea, 2015).

Tal es la pérdida de energía que generan las altas presiones de la onda de choque, que los aviones supersónicos en ese momento requieren de energía extra para poder superar el vuelo transónico (hasta velocidad Mach 1,3), la tecnología que se ha utilizado históricamente es el

uso de postquemadores en los motores, para así generar un empuje adicional y poder superar la barrera del sonido, una vez superada la velocidad de vuelo transónico ya no es necesario el uso de post quemadores.

Ese era el sistema que utilizaba el avión Concorde, hacía uso de los postquemadores hasta que alcanzaba la velocidad Mach 1,5 y luego ya no requería los postquemadores para acelerar a su velocidad de crucero final, Mach 2,2 (Barrenechea, 2015). En la siguiente fotografía se muestra la onda de choque.



Imagen 1: Onda de choque oblicua producida sobre una aeronave militar.

Fuente: (Aero Magazine, 2020).

2.2.2 HISTORIA DE LA AVIACIÓN SUPERSÓNICA.

El comienzo de esta historia se remonta al año 1947, un martes 14 de octubre, en un contexto de post segunda guerra mundial, cuando a las 10:30 am aproximadamente el capitán Chuck Yeager voló su aeronave Bell X-1, siendo “lanzado” a 20.000 pies de altura desde la bahía de bombas de un Boeing B-29 bombardero que combatió en la segunda guerra mundial.

El X-1 estaba equipado con motores de cohete denominados XLR-11, capaces de proporcionar unas 6.000 libras de empuje. El capitán aceleró su pequeña aeronave rápidamente hasta Mach 0,85, ingresando a un régimen de vuelo desconocido todavía para aquella época, ni siquiera había túneles de viento capaces de recrear esa situación. Chuck apagó 2 de las 4 cámaras de combustión para probar el control de la aeronave mientras se aproximaba a Mach 0,95 y comenzaban a aparecer sobre la superficie alar las primeras ondas de choque, una vez que el avión alcanzo los 40.000 pies de altitud el capitán Chuck se dispuso a nivelar la aeronave y volvió a encender una de las cámaras que había apagado anteriormente, fue entonces que el indicador de velocidad alcanzo el Mach 1,02 a una altitud de 43.000 pies para luego Saltar a la indicación final, Mach 1,06 en vuelo recto y nivelado, un vuelo que fue suave y en el que no se sintió tanto “golpeteo” como creían los ingenieros que ocurriría. El capitán Chuck Yeager, veterano de guerra que una semana antes se habría quebrado dos costillas por caerse de un caballo, pasaría a la historia como el primer hombre que fue capaz de superar la velocidad del sonido en una pequeña aeronave X-1 (NASA; Anderson, John D., 2001).

Esta misión se llevó a cabo en el desierto Mojave, en la ciudad de California, bajo el alero de lo que era en ese entonces la NACA (National Advisory Committee for Aerodynamics), comité que posteriormente pasaría a formar parte de la agencia estadounidense NASA.



The Bell X-1. (NASA photo)

Imagen 2: Aeronave Bell X-1, la primera en realizar un vuelo supersónico en la historia

Fuente: (NASA; Anderson, John D., 2001).

Una década después del hito del vuelo supersónico se comenzaron a presentar propuestas para llevar a cabo los llamados “supersonic transport” (SST, transporte supersónico), lográndose llevar a cabo 2 proyectos, el primero de ellos, un desconocido avión perteneciente a la ex Unión Soviética, el Tupolev 144 (TU-144), el cuál voló por primera vez en el año 1968, sólo unos meses antes que su competidor más famoso, el Concorde (Funtanilla, 2016).

El inicio del TU-144 era prometedor, se convirtió en el primer avión comercial en superar la velocidad Mach 2, sin embargo, un accidente en el espectáculo aéreo de París en el año 1973 mantuvo al TU-144 en tierra hasta el año 1977, lamentablemente, otro accidente durante un vuelo de prueba canceló el proyecto definitivamente en 1983. Pero, a principios de la década

de los 90, la NASA adquirió el modelo para realizar estudios sobre el vuelo supersónico, llegando así a su último vuelo en 1999 (Funtanilla, 2016).

La contraparte del TU-144, el Concorde, logró superarlo en vida. Entró en servicio en 1976 y voló durante 27 años, hasta que en julio del 2000 un fatal accidente dejó al avión en tierra para hacer revisión de los antecedentes, una vez hecha las correcciones pertinentes, el Concorde volvió a volar en noviembre de 2001 hasta su retiro final en 2003, a causa de las dificultades que enfrentaban los SST, que en este caso fueron el ruido y la rentabilidad económica (Funtanilla, 2016), además de presentar gran desconfianza debido a los accidentes sufridos por ambas aeronaves.

A pesar del gran entusiasmo que existe por el vuelo supersónico, hasta hoy los únicos casos de SST siguen siendo los dos ya mencionados, esto se debe a los tremendos desafíos que enfrentan los ingenieros para poder proveer un diseño de aeronave que sea aceptable por las entidades reguladoras de la actividad aeronáutica, como la FAA, EASA, aerolíneas, los mismos pasajeros, etc. (Funtanilla, 2016).

Uno de los principales problemas que presentan estas aeronaves desde el punto de vista de las regulaciones y el permiso para operar es el ruido, en el pasado producían excesivo ruido durante su operación en tierra, la fase de aproximación y al despegar o aterrizar. Además del ruido propio del vuelo supersónico generado por la onda de choque, razón por la cual el vuelo supersónico propiamente tal fue relegado solo al vuelo sobre el océano atlántico (Funtanilla, 2016).

Dicha restricción operativa explica el porqué de la ruta entre Nueva York y Londres que volaba el Concorde, dado que debían elegir rutas posibles para los SST y que, además, contaran con la demanda suficiente para poder generar la rentabilidad económica necesaria. Pero surge otra restricción operativa, el alcance de la aeronave, ya que la razón entre sustentación y resistencia (L/D) en los aviones supersónicos es bastante menor que el promedio de 18 a 20 de los aviones comerciales subsónicos como el A320, y a causa de la baja razón de sustentación y resistencia es que el alcance se ve impactado negativamente tal como muestra la ecuación de alcance de Breguet:

$$s = \frac{\frac{L}{D} V}{SFC * g_0} \ln \frac{m_i}{m_f}$$

En dicha ecuación: S es el alcance, L es la sustentación, D es la resistencia, V es la velocidad de crucero, SFC es el consumo específico de combustible, g_0 corresponde a la aceleración de gravedad, m_i es la masa inicial al momento del despegue y m_f es la masa final al momento del aterrizaje. Al observar la relación se nota que, si la razón L/D es disminuida, se necesita una mayor velocidad de crucero, un menor consumo de combustible y/o un menor peso estructural para mantener el alcance equivalente a los aviones supersónicos, sin embargo, los SST eran pesados, grandes consumidores de combustible para poder mantener una alta velocidad de gases de escape y así tratar de mantener un alcance aceptable. Además, para mantener altas velocidades en el vuelo crucero era necesario utilizar motores del tipo turbojet engines o low bypass ratio turbofan engines, estos tipos de motores consumen más combustible por el empuje producido que otro tipo de motores como podría ser un high bypass ratio turbofan, sin embargo, este último no se puede utilizar en aviones supersónicos. Sumado a eso, el aumento en los precios del combustible a principio de los años 2000 fue otro factor que selló el destino del Concorde (Funtanilla, 2016).

El problema final de los motores necesarios para el vuelo supersónico recae en la polución, estos motores eran altamente contaminantes emitiendo gases como gases de efecto invernadero, vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), óxidos nitrosos (NO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos no quemados y hollín. De todos los mencionados, los más perjudiciales para el ambiente son el monóxido de carbono y los óxidos nitrosos, pero al tratarse de aviones supersónicos que superan la velocidad de Mach 2, el óxido nitroso adquiere relevancia, dado que estos vuelos se llevan a cabo en la estratósfera y dicho gas es altamente dañino para la capa de ozono, por lo que esa interacción dañaba ese filtro de radiación imprescindible para la vida en la Tierra (Funtanilla, 2016).

Conscientes de todos los desafíos que presentaron los SST, la NASA comenzó a principios de los años 90 un programa de estudio, el High Speed Research o HSR para intentar resolver todas las problemáticas que se habían planteado con la operación de ambos aviones

supersónicos y así crear una nueva línea de aviones comerciales, los High Speed Civil Transport (HSCT), el principal objetivo del programa era lograr crear una aeronave capaz de transportar 300 pasajeros con un alcance máximo de 5.000 millas náuticas a una velocidad crucero de Mach 2,4. El programa también realizó la categorización de 3 aeronaves supersónicas: los supersonic business jet (SBJ), un SST capaz de volar sobre tierra, y el antes mencionado HSCT. La investigación de este programa arrojó los siguientes aprendizajes:

- a) Las técnicas de diseño de la estructura del avión pueden disminuir la onda de choque.
- b) Se sugirió el uso de motores tipo Low Bypass Ratio Turbofán, aunque la mayoría de los aviones supersónicos utilizan motores turbojet, se hizo esa sugerencia para mantener el consumo específico de combustible lo más bajo posible.
- c) Se necesitan combustores avanzados que produzcan emisiones ultra bajas de óxidos nitrosos, entre los posibles diseños de combustores se encuentran el Lean Premixed, Prevaporized (LPP) y el Rich, Quick mix, Lean (RQL).
- d) Se necesita utilizar materiales altamente resistentes a la temperatura que se genera en la piel del avión al volar a velocidades de Mach 2 o superior, se investigaron el aluminio, aleaciones de titanio y compuesto de matriz polimérica (PMC en inglés).
- e) Se realizaron pruebas en túneles de viento para mejorar la razón L/D, obteniendo un aumento en la razón de entre un 10-15% para los valores del TU-144 y el Concorde.

El proyecto concluyó que construir un avión capaz de volar a Mach 2.4 era un objetivo muy agresivo y que la alternativa más viable era una aeronave más pequeña y ligera con una velocidad de Mach 1.6, como sería el SBJ. A pesar de que suena pesimista el fin del proyecto, pruebas más contemporáneas y estudios más recientes han mostrado mejores resultados y nuevamente vuelve a aparecer en el horizonte la alternativa de crear un avión comercial supersónico, la NASA ha hecho pruebas readecuando aviones con distintas estructuras para estudiar su comportamiento, notando que era posible disminuir los efectos que produce la onda de choque, así como también hacer que esta se comporte de una manera predecible, se han utilizado aviones como el F-5E Tiger II con un fuselaje más largo, o un F-15B con una nariz más larga al que apodó “Quiet Spike” dada su capacidad de dividir la onda de choque en 3 más pequeñas, reduciendo el ruido que emitía (Funtanilla, 2016).



Figure 3. F-5E Tiger II with lengthened fuselage. Demonstrator for the vehicle shaped sonic boom test (NASA Photo)



Figure 3. F-15B equipped with "Quiet Spike". A Collaboration between Gulfstream Aerospace and NASA

Imagen 3: Aeronaves F-5E Tiger II y F-15B utilizadas por la NASA

Fuente: (Funtanilla, 2016).

De todas maneras, ese no es el cierre de esta historia, la que comenzó hace ya 78 años sigue vigente hasta hoy, gracias a los avances tecnológicos y nuevos descubrimientos, algunas empresas están dirigiendo sus esfuerzos en desarrollar la aeronave supersónica comercial que pueda cumplir todos los requisitos y desafíos normativos existentes, y que sea económicamente viable.

2.2.3 FACTIBILIDAD TÉCNICA Y OPERATIVA EN EL CONTEXTO LATINOAMERICANO.

Para poder analizar la factibilidad técnica y operativa de los nuevos aviones supersónicos, es necesario revisar y analizar las especificaciones técnicas que entregan los fabricantes, por ejemplo: largo de la aeronave, superficie alar, potencia máxima de los motores, niveles de ruido emitidos si es que está disponible, capacidad de combustible, consumo específico de combustible, alcance máximo de vuelo, autonomía, máxima capacidad de carga o pasajeros, tablas de performance (de ser posible), etc.

Así, es posible contrarrestar las capacidades y requisitos de la aeronave con la infraestructura existente que se puede ofrecer, así también se lleva a cabo el procedimiento de evaluación de requisitos de normas como por ejemplo niveles de contaminación acústica o de emisión de gases.

Considerando que, en el pasado, a las SST solo se les permitía realizar el vuelo supersónico siempre que no fuera sobre áreas pobladas, las ubicaciones de las ciudades estratégicas seleccionadas son ventajosas, teniendo aeropuertos cercanos a las costas de los países, lo que les permitiría ingresar al régimen de vuelo supersónico prontamente y así aprovechar al máximo las características de estas aeronaves.

Finalmente, durante el proceso de despegue y ascenso inicial, así como en la aproximación y aterrizaje, la aeronave no puede volar a velocidades supersónicas, sin embargo, los motores de la actualidad son mucho más eficientes que en el pasado, tal como se ha mencionado anteriormente, por lo que no debería presentar mayor problema en la operatividad ni en el consumo para estos aviones encontrarse en esas fases de vuelo, y dicho eso, tampoco

deberían presentarse mayores problemas en términos de capacidades de espacio aéreo ni del control del tránsito del mismo, ya que las ciudades seleccionadas presentan grandes aeropuertos (aeropuertos principales para los 4 países), capaces de recibir hasta las aeronaves de mayor envergadura que vuelan en la actualidad. De esta manera, los requerimientos técnicos de longitud de pista se cumplen, aunque si probablemente los aeropuertos o los operadores aéreos deberían realizar inversiones para adecuar la estructura de los terminales para estas aeronaves.

2.2.4 SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE.

La sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente son temas que se han vuelto sumamente relevantes, no solo para la industria aeronáutica, sino que, para todas las industrias en conjunto, todas han estado trabajando para disminuir la forma en que dañan el medio ambiente.

Como ya se mencionó anteriormente, la industria aeronáutica es responsable de solo el 2% de la emisión de gases contaminantes que produce la actividad humana en el planeta, mucho menor a sus símiles terrestres o marinas y mucho menor a otro tipo de industrias, sin embargo, siempre ha sido consciente de que de todas formas contribuye a la contaminación y que si puede reducirla hará esfuerzos para lograrlo, más aún, considerando que gran parte de la emisión de sus gases los hace directamente en altas altitudes de la atmósfera.

Por eso muchos avances se han realizado para poder desarrollar combustibles amigables con el medio ambiente, y cada vez son más los estudios y pruebas que se realizan para lograr llegar a operaciones carbono neutrales en la aviación.

Dicho esto, cabe mencionar que los nuevos desarrolladores de aeronaves supersónicas están obligados a cumplir los requisitos de la industria (el mayor de todos, ser carbono neutrales para el año 2050), y es por eso que es de vital importancia los lazos que generan con los constructores de motores, en cuanto a que cumplan con la capacidad de generar la energía necesaria para romper la barrera del sonido y mantenerse en crucero a velocidad supersónica

a la vez que se cumplen los requisitos normativos de disminuir las emisiones o de ser posible, de desarrollar una operación carbono neutral.

Tomando esto en consideración es que el “International Council of Clean Transportation” ha realizado un estudio titulado “Los límites medioambientales para los aviones supersónicos en 2035”, en el estudio mencionado, se analiza el potencial de mercado y el impacto atmosférico de dos distintos SST, el primero corresponde a un avión pequeño (small SST) con capacidad para 15 pasajeros y diseñado para volar a velocidad Mach 1,4. El segundo avión estudiado corresponde a uno de mayor tamaño (Large SST), con capacidad para 75 pasajeros y un vuelo crucero a velocidad Mach 1,7.

En el estudio se modela el comportamiento de ambas aeronaves sin ningún tipo de restricción operativa (en términos de contaminación), para luego proceder a modelar el comportamiento considerando las limitaciones de contaminación acústica y del medio ambiente. Utilizando el programa de modelación del laboratorio para la aviación y el medio ambiente del MIT (Massachusetts institute of technology), se proyectaron dichas operaciones bajo 4 escenarios distintos para el año 2035 (incluyendo el número potencial de SST, operaciones potenciales y la cantidad total de combustible quemado), luego se compararon esos resultados con los obtenidos al proyectar las operaciones de los aviones subsónicos, utilizando otro software de simulación que les permitió generar un mapa que muestra los rastros de gases emanados como vapor de agua, metano y carbón negro, para así ver el impacto en la capa de ozono que generaron ambas clasificaciones de aeronaves (International council of clean transportation, 2022).

Dentro de los resultados, encontraron que el uso de querosén desarrollado con fuentes eléctricas renovables puede reducir las emisiones del dióxido de carbono de largo plazo, pero no tiene tanto efecto en cuanto a la emisión de los otros gases, para el caso del avión pequeño se trata de una disminución del 6% y del grande la disminución es del 24% comparados con un avión subsónico, debido al requerimiento extra de combustible que tienen los aviones supersónicos.

Dicho modelo muestra resultados no muy alentadores, solo en términos de dióxido de carbono se observan números positivos para la causa, sin embargo, en las otras emisiones no se observan cambios prácticamente, y tal como se modeló el mercado de los aviones, no se presenta rentabilidad económica.

Tal vez se deban realizar más simulaciones como esa, pero utilizando distintos tipos de SAF ya que en la actualidad se están manejando una gran variedad de posibilidades de combustibles amigables con el medio ambiente.

2.3 PROPUESTA METODOLÓGICA.

La presente propuesta metodológica tiene como objetivo establecer el enfoque y los pasos metodológicos a seguir en el estudio comparativo del uso de aviones supersónicos en Chile. El objetivo de esta investigación es analizar y evaluar diferentes aspectos relacionados con la implementación de esta tecnología en la aviación comercial, considerando tanto sus implicaciones técnicas y operativas como sus impactos económicos, comerciales y medioambientales.

La propuesta metodológica comienza con la revisión de la teoría que existe detrás del proceso de selección de flota por el que debe atravesar toda aerolínea, dicho proceso es sumamente relevante ya que se deben considerar los aspectos técnicos de las aeronaves, pero también aquellos indicadores de rendimientos que se presenten, los costos asociados a la adquisición de un modelo u otro, los costos de mantenimiento, la facilidad de capacitar al personal, los indicadores económicos, etc.

Luego se procede con la recopilación de información, a través de la revisión de la literatura científica y técnica. A partir de esta recopilación de información, se llevará a cabo un análisis comparativo de los diferentes aspectos estudiados, utilizando un análisis cuantitativo y cualitativo, para identificar los aspectos positivos y negativos de implementar aeronaves supersónicas en las rutas ya existentes y en rutas nuevas.

La interpretación de los resultados obtenidos en el análisis comparativo permitirá generar las conclusiones, que serán discutidas y relacionadas con la literatura existente en el campo de la aviación supersónica.

Por lo tanto, los pasos a seguir para poder desarrollar el estudio, generar el entendimiento, y hacer las comparaciones y análisis correspondientes son:

1. Recopilación de datos: Identificar fuentes de datos relevantes para cada aspecto del estudio comparativo, como datos de vuelos existentes, datos económicos y comerciales, datos de impacto ambiental, entre otros. Entre las fuentes que se consultarán se encontrarán análisis de informes de aerolíneas, organizaciones

relevantes para la aviación de Chile y del mundo (DGAC, JAC, IATA, etc.) estadísticas de tráfico aéreo, informes económico.

2. Análisis comparativo: Se realizará un análisis comparativo de los diferentes aspectos relacionados con el uso de nuevos aviones supersónicos en rutas existentes y nuevas. Esto implica examinar y comparar la velocidad, aerodinámica, consumo de combustible, capacidades de carga, autonomía y la performance de los aviones, el impacto económico y comercial, la factibilidad técnica y operativa.
3. Interpretación de resultados: Se interpretarán los resultados obtenidos a partir del análisis comparativo, para verificar si las rutas de vuelo son factibles con aeronaves supersónicas, también, se verificará si es posible cumplir los requisitos normativos, si es que existe una demanda que se pueda suplir con las aeronaves comerciales y cuál sería el impacto que generarían para Chile, además, se establecerán relaciones entre los aspectos estudiados. Esto permitirá responder a los objetivos específicos de la investigación y extraer conclusiones.
4. Conclusiones: Se responderán los objetivos planteados en base al estudio realizado y los resultados obtenidos, resumiendo los hallazgos y los puntos a favor y en contra de operar una aeronave supersónica. Finalmente, se mencionarán algunas recomendaciones que se pueden tomar en cuenta cuando se considere llevar a cabo este tipo de proyectos.

CAPÍTULO III: DESARROLLO.

3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE AERONAVES SUBSÓNICAS Y SUPERSÓNICAS.

En este punto específico es que se llevará a cabo la comparación del estudio, ponderando aspectos estructurales, técnicos, de performance, de costos, de ingresos y de impacto medioambiental, entre otras características propias de las aeronaves.

Al recopilar la información obtenida directamente de los fabricantes, es que se pudo desarrollar la siguiente tabla:

Datos Técnicos Aeronaves				
Característica	Concorde	A350-900	787-9	Boom Overture
Longitud	62,1 [m]	66.8 [m]	63 [m]	61.3 [m]
Envergadura	25,5 [m]	64.75 [m]	60 [m]	-
Altura	11,3 [m]	17.05 [m]	17 [m]	-
Cantidad de Motores	4	2	2	4
Peso Vacío (BEW)	78.700 [Kg]	130.000 [Kg]	128.850 [Kg]	-
Peso Sin Combustible (ZFW)	92.080 [Kg]	195.700 [Kg]	180.000 [Kg]	-
Peso Máximo de Despegue (MTW)	185.000 [Kg]	283.000 [Kg]	254.000 [Kg]	-
Consumo de Combustible	~25.668 [Lt/Hr]	~7.500 [Lt/Hr]	~5.400 [Lt/Hr]	-
Empuje Producido	38.000 [lb]	84.000 [lb]	74.000 [lb]	35.000 [lb]
Consumo específico de Combustible por Empuje [lb/h*lb ^f]	~1,3	~0,5	~0,5	~0,8
Capacidad PAX	100	350	296	64-80

Capacidad Combustible	95.680 [Kg]	110.000 [Kg]	101.000 [Kg]	-
Capacidad de Carga de pago	2.500 [Kg]	~16.000 [Kg]	~20.000 [Kg]	-
Velocidad Máxima de Crucero	Mach 2,0	0,89 Mach	0,89 Mach	Mach 1,7
Alcance	6.667 [Km]	18.000 [Km]	14.010 [Km]	7.867 [Km]
Altitud de crucero	FL 600	FL 350-FL 430	FL 350-FL 410	FL 600
Pista requerida Despegue	3.050 [m]	~2.600 [m]	~2.800 [m]	-
Pista requerida Aterrizaje	2.290 [m]	~2.000 [m]	~2.400 [m]	-

Tabla 1: Datos Técnicos de aeronaves Concorde, A350, 787 y Overture.

Fuente: Elaboración propia, recopilando información de los fabricantes.

De la tabla 1 se puede extraer información valiosa en términos de comparación de aeronaves, así como también para poder analizar la capacidad de volar nuevas rutas.

Por ejemplo, no se cuenta con datos de envergadura ni de altura del Overture, sin embargo, en longitud es bastante similar a lo que era el Concorde, y dado que es una aeronave destinada a superar la barrera del sonido, la configuración de las alas también es la misma que su predecesora, ala delta. Por lo que se podría considerar que las dimensiones faltantes serían también, bastante similares a las del Concorde.

El “Peso Vacío Básico” o BEW (por la sigla en Inglés de Basic Empty Weight), corresponde al peso de la estructura del avión, con su correspondiente configuración de cabina, y considerando solamente los líquidos de circuitos cerrados necesarios para la operación, como lo son los líquidos hidráulicos, el combustible inutilizable y toda la capacidad de aceite del sistema de lubricación, este peso además considera los motores, todos los sistemas y computadores del avión (Federal Aviation Administration, 2024).

Se menciona, y es relevante de analizar, porque el peso determina en gran medida la performance del avión, por conceptos de empuje requerido (por ende, la capacidad de los motores de cumplir con esa exigencia, lo que conlleva al consumo de combustible) para la primera fase del vuelo, el despegue, lo que a su vez se ve condicionado por el peso máximo de despegue o MTOW (del inglés Maximum Take-Off Weight), Característica que sirve también, para conocer el máximo Alcance de un avión.

El Alcance se define como la máxima distancia que se puede obtener de una operación, dadas ciertas condiciones, como pueden ser, cantidad de combustible, flujo o consumo de combustible, peso de la aeronave, altitud de vuelo, configuración aerodinámica de la aeronave y velocidad. (Federal Aviation Administration, 2024).

El alcance es relevante para poder evaluar las rutas que pueden realizarse con esta aeronave, lo cual será revisado a detalle en un apartado posterior.

3.1.1 ESTIMACIÓN DE CONSUMO

Overture también cuenta con 4 motores al igual que lo hacía el Concorde, sin embargo, el Concorde equipaba 4 motores del tipo “Jet Puro”, lo que significa que toda la estructura que tenía correspondía al motor donde se produce el ciclo de Brayton, incluso estaba equipado con el sistema de Postquemador, para generar el empuje extra que necesitaba para poder romper la barrera del sonido y continuar su aceleración hasta la velocidad de crucero.

Usualmente se utiliza estos motores para los aviones destinados a volar más rápido que el sonido, son más compactos en diámetro lo cual es útil en este tipo de aeronaves, pero a su vez consumen grandes cantidades de combustible.

Como se aprecia en la Tabla 1, el Concorde consumía aproximadamente 8 veces más el combustible que consumen los narrowbody de un pasillo, este consumo se obtuvo realizando cálculos de transformación de unidades utilizando la información técnica respecto al desempeño del motor Olympus 593 en términos de empuje máximo y consumo específico de combustible.

Para cada parámetro mencionado existen 2 valores, el empuje máximo está dividido entre el empuje máximo seco (sin el uso de postquemadores) con un valor de 31.350 [lbf] y el húmedo (utilizando postquemadores) con un valor de 38.050 [lbf], mientras que el consumo específico está segregado entre consumo a nivel crucero y a nivel del mar, teniendo valores de 1,195 [lb/h*lbf] y 1,39 [lb/h*lbf] respectivamente (Heritage Concorde, 2025).

Al multiplicar el consumo específico con el empuje máximo se obtiene el consumo del motor en libras por hora, además, se consideran en estos cálculos los pares empuje máximo seco-consumo específico en crucero y empuje máximo húmedo-consumo específico a nivel del mar, ya que así es como se relacionan las fases del vuelo con el consumo que genera el motor, en crucero consume menos que a nivel del mar ya sea despegando o aterrizando.

Al realizar la multiplicación se obtienen los valores de consumo húmedo de 52.890 [lb/h] y de seco de 37.463 [lb/].

Luego, se considera que 1 [Kg] equivale a 2,2 [lb], por lo que al dividir cada consumo obtenido entre 2,2 se obtiene el consumo en [Kg/h], de esta manera se tiene un consumo húmedo de 24.041 [Kg/h] y uno seco de 17.029 [Kg/h].

Finalmente, para tener el consumo en [Lt/h] se debe utilizar la densidad del combustible jet A-1, la cual es aproximadamente 0,8 [gr/ml] en condiciones ambientales estándar (Esmax, 2017).

Dada la equivalencia de unidades de medida, se considera la densidad como 0,8 [Kg/Lt], y al dividir el consumo medido en [Kg/h] por la densidad, se cancelan las unidades [Kg] y se obtiene el consumo medido en [Lt/h]. Obteniendo así un consumo húmedo de 30.051 [Lt/h] y seco de 21.286 [Lt/h]. Del promedio de estos dos valores finales es que se obtiene el consumo estimado del Concorde de 25.668 [Lt/h], que equivale a 20.535 [Kg/h] y 45.176 [lb/h], que al dividirlo por el empuje promedio de 34.700 [lbf], se obtiene un TSFC promedio de 1,3 [lb/h*lbf].

En cuanto al Overture, dado que su motor aún se encuentra en desarrollo, no se tienen datos específicos como los del Concorde, sin embargo, se sabe que incorporará motores Turbofán

del tipo médium bypass ratio y que no contará con postquemadores (Boom Supersonic, 2025), por lo que es posible estimar el consumo de combustible utilizando el TSFC, considerando dos escenarios:

3.1.1.1 ESTIMACIÓN DE CONSUMO OPTIMISTA

Para la estimación optimista, se realizarán los cálculos de consumo de combustible estimando que los motores tendrán un TSFC de la mitad de valor que el que tenía el Concorde, considerando los avances tecnológicos y la estructura del motor, ya que por su construcción con un fan y sin postquemadores hace que definitivamente tenga un consumo menor. Adicional a eso, actualmente se cuenta con materiales más livianos y eficientes, y finalmente, el Concorde tenía capacidad para más pasajeros que el Overture.

Es así como, tomando el TSFC obtenido en los cálculos del Concorde y dividirlo por 2 se obtiene el TSFC estimado para el Overture, de 0,65 [lb/h*lb_f]. Cantidad que al ser multiplicada por el empuje esperado que produzcan los motores de 35.000 [lb_f], se obtiene un consumo de 22.783 [lb/h], que equivalen a 10.356 [Kg/h] y a 12.945 [Lt/h], lo que demuestra tener un consumo de aproximadamente la mitad de lo que era en el Concorde.

3.1.1.2 ESTIMACIÓN DE CONSUMO CONSERVADORA

Para el caso de la estimación conservadora se toma como base la estimación anterior, ya que el valor del TSFC debe ubicarse entre el valor obtenido para el Concorde y el valor obtenido en la estimación optimista.

Mediante el uso de un simulador de motores desarrollado por la NASA, se obtuvieron los siguientes resultados (ver imágenes en anexos 1 y 2):

Al ingresar parámetros similares a los planificados para el motor del Overture, considerando al diámetro del fan, las etapas de compresor y turbinas, una altitud de vuelo de 60.000 [ft], se obtuvo un empuje producido de aproximadamente 35.000 [lb] (lo que se espera que produzca el motor) y un valor de TSFC de 0,767 [lb/h*lb_f], que para efectos del cálculo conservador será considerado como 0,80 [lb/h*lb_f].

Con ese TSFC y los cálculos correspondientes, se obtiene el consumo de combustible en sus distintas unidades de medida: 28.000 [lb/h], 12.727 [Kg/h] y finalmente 15.830 [Lt/h]. Este nivel de consumo representa aproximadamente un 62% del consumo obtenido para el Concorde.

3.1.2 ESTIMACIÓN DE COSTO DE COMBUSTIBLE

De acuerdo con la IATA, el costo de combustible abarca en promedio para las aerolíneas aproximadamente un 30% del costo total de operación, pero para Latinoamérica este porcentaje es mayor siendo 36% (IATA, 2024). Considerando que el Concorde para sus años finales también tuviera esa distribución de costos, y contemplando el costo operativo anual que se estima en 1 billón de libras esterlinas (Simple Flying, 2023), se puede estimar el costo en el ítem combustible para el Overture.

Como primer paso se debe calcular el valor actual de ese billón de libras, utilizando la fórmula de interés compuesto:

$$VF = VP \times (1 + i)^n \quad (1)$$

Donde:

VF: Es el valor futuro, en este caso, el valor actual en 2025.

VP: Es el valor presente, en este caso, el valor de 1 billón de libras en 2003.

i: Corresponde a la tasa de interés, considerada como un 3%, valor utilizado generalmente para cálculos de valor actual por representar una tasa de crecimiento normal esperable.

n: Es la cantidad de periodos capitalizados, en este caso 22 años, obtenidos de la resta entre 2025 y 2003.

Al aplicar la fórmula se obtiene un valor actual de aproximadamente 1,9 billones de libras esterlinas, lo que equivale aproximadamente a 2,55 billones de dólares estadounidenses, considerando el valor de 1 libra por 1,33 USD (Google Finance, 2025).

Considerando este último valor, y aplicando el 36% correspondiente al combustible se obtiene un valor de 918 millones de dólares aproximadamente. Los que, a su vez, al considerar el porcentaje de ahorro de combustible obtenido para el Overture en la estimación conservadora, se traducen en un costo final de 570 millones de dólares, lo que representa un ahorro significativo de 349 millones de dólares. Mientras que, al considerar el ahorro obtenido en la estimación optimista, el costo final sería poco más de 459 millones de dólares.

Con todos los resultados anteriores obtenidos se generó la siguiente tabla resumen:

Característica	Concorde	Overture	
Tipo de motor	Jet Puro con Postquemadores	Medium Bypass Ratio Turbofán sin Postquemadores	
Velocidad de crucero	~ Mach 2,0 (2180 km/h)	~ Mach 1,7 (2100 km/h)	
Empuje por motor [Lb] promedio	34.700	35.000	
TSFC (Thrust Specific Fuel Consumption)	1,30	0,8	0,65
Consumo de combustible [Lt/H]	25.668	15.830	12.881
Consumo de combustible [Kg/H]	20.535	12.727	10.356
Costo de combustible anual estimado [USD]	918.000.000	569.160.000	459.000.000

Tabla 2: Comparación entre Concorde y Boom Overture en empuje, consumo y costo anual de combustible estimado.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 POSIBLES RUTAS EN BASE AL ALCANCE.

Para poder evaluar las posibles rutas en base al alcance declarado por la compañía Sonic Boom se utilizó la herramienta Google Earth, con la cual es posible medir la distancia entre 2 puntos. De esta manera se realizó la medición de distancia desde los aeropuertos principales de las 4 ciudades consideradas.

3.2.1 SANTIAGO.

Al realizar la medición desde el aeropuerto de Santiago, se evidencia que el Overture tiene la capacidad de cubrir todo Sudamérica y Centroamérica.

Sin embargo, solo cubriría partes de Norteamérica; de México se cubren ciudades como Monterrey, Ciudad de México y Guadalajara, pero no es posible cubrir México por completo, mientras que Cuba y Puerto Rico si están cubiertos.

En Estados Unidos se cubre solo parte de la costa sur y este; San Antonio, Houston, Austin, Dallas, Nueva Orleans, Miami, Jacksonville, Charlotte son las ciudades principales a las que es posible llegar, cubriendo así parte de los estados de Texas, Luisiana, Misisipi, Alabama, Georgia, Florida, Carolina del Norte y Carolina del Sur.

(Ver imagen referencial en Anexo 3).

3.2.2 LIMA.

Al realizar la medición desde el aeropuerto de Lima, que tiene una posición más ventajosa que Santiago, se evidencia mayor capacidad de cobertura continental.

De manera similar que, en Santiago, desde Lima se cubre toda Sud y Centroamérica, con la diferencia de que muestra expansión hacia Norteamérica, cubriendo por completo a México y abarcando prácticamente la totalidad de Estados Unidos.

Su extensión podría llegar incluso a Provincias más del Atlántico de Canadá, destacando las ciudades principales: Toronto, Montreal, Quebec y la capital Ottawa.

(Ver imagen referencial en Anexo 4).

3.2.3 BOGOTÁ.

Para el caso de Bogotá, en términos del continente americano, se puede notar la ventaja competitiva que posee. Bogotá se encuentra prácticamente en el centro del continente, por lo que para el Overture sería posible cubrir el continente americano casi en su totalidad.

Adicional a lo anterior, sería posible llegar a la capital de Groenlandia, a la parte sur de Irlanda, Portugal, algunas ciudades de España (Santiago de Compostela, Cáceres, Mérida, Cádiz, Sevilla y Málaga), y algunas partes de África como: Marruecos, Sahara Occidental, Mauritania, Senegal, Gambia, Guinea y Costa de Marfil.

(Ver imagen referencial en Anexo 5).

3.2.4 RECIFE.

Finalmente, tomando como centro el Aeropuerto Internacional de Recife Guararapes, se observa una gran cobertura de ciudades.

Se repite el patrón con estas cuatro ciudades de cubrir por completo Sud y Centroamérica. La limitación se observa en Norteamérica, pues de México solo podría cubrir la Ciudad de México y Oaxaca. De Estados Unidos la cobertura se extiende por el lado este del país en ciudades como: Houston, Nueva Orleans, Memphis, Atlanta, Jacksonville, Chicago, Indianápolis, Cleveland, Miami, Columbus, Detroit, Washington DC, Filadelfia, Nueva Jersey, Nueva York, Boston y Portland.

En este caso Canadá no está cubierto por completo, pero si lo están las ciudades principales de Toronto, Ottawa, Montreal y Quebec.

La novedad de Recife se extiende en Europa, llegando a cubrir Irlanda, todo el Reino Unido, Portugal, España, Francia, Italia, Bélgica, Holanda, Suiza, Austria, Alemania, Croacia, Eslovenia y Grecia.

Finalmente, desde Recife el Boom Overture podría cubrir casi por completo África.

(Ver imagen referencial en Anexo 6).

3.3 PROYECCIÓN DE DEMANDA.

El desarrollo de la proyección de demanda se realizó con el apoyo del software Microsoft Excel, para la construcción de tablas y gráficos que permiten analizar tendencias. Dichos análisis se alimentaron de los datos obtenidos desde las distintas Autoridades de Aviación Civil de los países contemplados en el estudio.

Adicionalmente, se realizó la proyección a 10 años, desde el 2033, año en que se espera que el Overture entre en Operación, con lo cual, la proyección se llevó hasta el 2043.

3.3.1 SANTIAGO.

En el caso de Santiago, se recolectó información del total de pasajeros movilizadas desde y hacia Chile, vía el aeropuerto principal del país y se destacó a los pasajeros de Estados Unidos, mediante las estadísticas históricas de la JAC (Junta de Aeronáutica Civil, 2025), con lo que se construyó la siguiente tabla:

año	PAX CL-USA	PAX USA-CL	Subtotal	Total Pax/Año	Porcentaje CL-USA
2000	345.444	316.935	662.379	6.402.596	10%
2001	315.115	294.773	609.888	6.247.474	10%
2002	280.962	272.545	553.507	5.932.956	9%
2003	257.709	257.420	515.129	6.319.234	8%
2004	263.312	278.308	541.620	6.618.872	8%
2005	270.085	283.499	553.584	7.222.336	8%
2006	294.027	304.901	598.928	7.610.583	8%
2007	466.014	331.711	797.725	9.361.336	9%
2008	322.496	331.800	654.296	9.709.025	7%
2009	301.725	316.221	617.946	9.711.882	6%
2010	312.074	329.186	641.260	11.064.487	6%
2011	341.440	373.763	715.203	12.989.318	6%
2012	371.140	434.469	805.609	15.346.860	5%
2013	399.538	466.531	866.069	16.717.860	5%
2014	413.862	469.854	883.716	17.436.194	5%
2015	533.515	563.620	1.097.135	18.346.254	6%
2016	601.309	617.521	1.218.830	20.296.685	6%
2017	611.094	629.989	1.241.083	22.537.254	6%

2018	607.081	619.850	1.226.931	24.762.083	5%
2019	608.158	601.235	1.209.393	26.286.758	5%
2022	524.658	513.040	1.037.698	20.516.323	5%
2023	589.005	568.835	1.157.840	25.159.948	5%
2024	113.852	105.315	219.167	5.312.107	4%

Tabla 3: Ponderación del tráfico entre Chile y EE.UU. respecto al total de pasajeros internacionales desde Chile.

Fuente: Elaboración propia con información de estadística histórica de la JAC.

De la tabla anterior se pudo obtener el porcentaje promedio de aporte de Estados Unidos a los vuelos internacionales de Chile, ponderando un 8%.

Además, con los datos de la tabla anterior se construyeron y analizaron distintos gráficos para realizar la proyección de demanda. Finalmente, se decidió utilizar la tendencia polinómica por ser la que mejor se ajustaba a la curva y que mostraba un crecimiento en la cantidad total de pasajeros no tan agresivo:

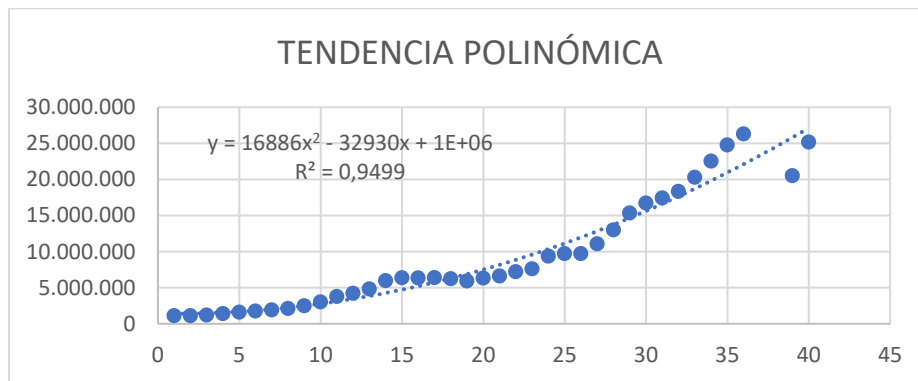


Gráfico 17: Curva de tendencia polinómica de la Tabla 3, donde el eje X representa los años (1= 1984, 40= 2023) y el eje Y es la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación.

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de la recta mostrada en el gráfico es la que se utilizó para realizar la proyección y, considerando la composición del mercado chileno, se tomó el supuesto optimista de abarcar el 1% del mercado que no acaparan ninguna de las 3 grandes aerolíneas. Obteniendo la siguiente tabla:

Año	Total PAX CL	PAX CL-USA	1%
2025	29.403.844	2.352.308	23.524
2026	30.806.224	2.464.498	24.645
2027	32.242.376	2.579.391	25.794
2028	33.712.300	2.696.984	26.970
2029	35.215.996	2.817.280	28.173
2030	36.753.464	2.940.278	29.403
2031	38.324.704	3.065.977	30.660
2032	39.929.716	3.194.378	31.944
2033	41.568.500	3.325.480	33.255
2034	43.241.056	3.459.285	34.593
2035	44.947.384	3.595.791	35.958
2036	46.687.484	3.734.999	37.350
2037	48.461.356	3.876.909	38.770
2038	50.269.000	4.021.520	40.216
2039	52.110.416	4.168.834	41.689
2040	53.985.604	4.318.849	43.189
2041	55.894.564	4.471.566	44.716
2042	57.837.296	4.626.984	46.270
2043	59.813.800	4.785.104	47.852

Tabla 4: Proyección de demanda hasta 2043, destaca el 1% correspondiente al supuesto de cuota de mercado.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 LIMA.

No se cuenta con la suficiente información del tráfico de Lima para poder realizar proyecciones de demanda focalizada en los mercados de interés para este estudio.

3.3.3 BOGOTÁ.

Para Colombia, al ser un mercado mucho más grande y variado, se consideró no solo Estados Unidos, sino que además se le añaden los destinos de Europa, dado que el alcance del Overture le permitiría llegar a dicho continente.

Se recolectó información del total de pasajeros en salidas y llegadas internacionales, destacándose los movimientos de pasajeros de Estados Unidos y Europa, mediante las estadísticas del flujo aéreo en Colombia del MINCIT (Ministerio del Comercio, Industria y Turismo de Colombia, 2025), con lo que se construyó la siguiente tabla:

año	TOTAL COL-USA-COL	TOTAL COL-EUR-COL	SUBTOTAL	TOTAL PAX/AÑO	Porcentaje COL-USA-EUR
2012	2.362.412	1.025.002	3.387.414	7.779.766	43,54%
2013	2.734.219	1.060.506	3.794.725	8.884.048	42,71%
2014	2.976.074	1.146.692	4.122.766	9.937.796	41,49%
2015	3.175.972	1.310.506	4.486.478	10.976.610	40,87%
2016	3.298.167	1.495.518	4.793.685	11.779.082	40,70%
2017	3.206.668	1.635.109	4.841.777	12.270.642	39,46%
2018	3.640.713	1.849.713	5.490.426	13.775.772	39,86%
2019	3.851.019	2.035.487	5.886.506	14.199.741	41,46%
2022	4.441.314	1.918.196	6.359.510	15.129.229	42,03%
2023	5.571.223	2.522.106	8.093.329	19.422.190	41,67%
2024	6.427.877	2.884.426	9.312.303	19.993.363	46,58%

Tabla 5: Comparación del tráfico entre Colombia y EE.UU./Europa respecto al total internacional.

Fuente: Elaboración propia con información estadística del MINCIT.

Es posible observar que las cantidades de pasajeros movilizados entre Colombia y Estados Unidos, y entre Colombia y Europa representa un gran porcentaje del total de pasajeros que salen y entran en Colombia en vuelos internacionales, dichas cantidades promedian un 42% del total de pasajeros internacionales.

Con los datos anteriores se construyeron gráficos para evaluar cuál es la mejor tendencia para realizar la proyección de demanda. De los 5 gráficos construidos se seleccionaron 3 inicialmente utilizando como elemento segregador el coeficiente de correlación. A

continuación, se muestra el gráfico con tendencia polinómica, la cual fue seleccionada para realizar la proyección. (Ver los otros dos gráficos en Anexos 7 y 8):

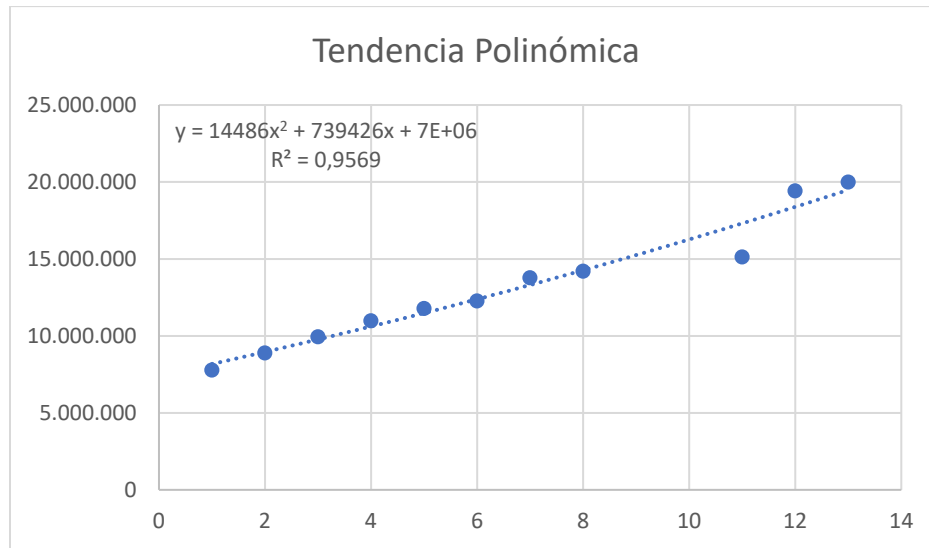


Gráfico 18: Gráfico de dispersión con tendencia polinómica, donde el eje X representa los años (1=2012) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación.

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos del MINCIT.

La ecuación de la recta mostrada en el gráfico es la que se utilizó para desarrollar la proyección de demanda, así como también, se utilizó el promedio del aporte que realizan EE. UU. y Europa al total de pasajeros internacionales de Colombia para diferenciar los pasajeros objetivos dentro del total. Finalmente, se tienen 3 escenarios de participación de mercado, el optimista con un 1%, el neutro con un 0,5% y el conservador con un 0,1%, así se realizó la siguiente proyección de demanda:

año	Total Pax	PAX COL- USA y EUR	1%	0,5%	0,1%
2025	17.366.646	7.267.942	72.679	36.340	7.268
2026	18.106.101	7.577.404	75.774	37.887	7.577
2027	18.845.558	7.886.867	78.869	39.434	7.887
2028	19.585.017	8.196.330	81.963	40.982	8.196
2029	20.324.478	8.505.795	85.058	42.529	8.506
2030	21.063.941	8.815.260	88.153	44.076	8.815
2031	21.803.406	9.124.726	91.247	45.624	9.125
2032	22.542.873	9.434.193	94.342	47.171	9.434
2033	23.282.342	9.743.661	97.437	48.718	9.744
2034	24.021.813	10.053.129	100.531	50.266	10.053

2035	24.761.286	10.362.599	103.626	51.813	10.363
2036	25.500.761	10.672.069	106.721	53.360	10.672
2037	26.240.238	10.981.540	109.815	54.908	10.982
2038	26.979.717	11.291.012	112.910	56.455	11.291
2039	27.719.198	11.600.485	116.005	58.002	11.600
2040	28.458.681	11.909.958	119.100	59.550	11.910
2041	29.198.166	12.219.433	122.194	61.097	12.219
2042	29.937.653	12.528.908	125.289	62.645	12.529
2043	30.677.142	12.838.384	128.384	64.192	12.838

Tabla 6: Proyección de demanda en Colombia hasta 2043 según cuotas del 1%, 0,5% y 0,1% del tráfico hacia EE.UU. y Europa.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 RECIFE.

Para el mercado de Recife se realizaron consideraciones similares a las de Bogotá, dado el tamaño de mercado, la variedad de destinos y la ubicación geográfica, se toman en cuenta los pasajeros movilizados a EE. UU. Y a Europa, contemplando cuál es el porcentaje de aporte de estos destinos al total de pasajeros internacionales de Brasil. De esta manera y con los datos estadísticos del informe de la ANAC Brasil (Agencia Nacional de Aviación Civil de Brasil, 2025), se construyó la siguiente tabla:

AÑO	TOTAL BRA-USA-BRA	TOTAL BRA-EUR-BRA	SUBTOTAL	TOTAL PAX/AÑO	PORCENTAJE BRA-USA-EUR
2000	2.275.697	2.712.878	4.988.575	8.051.900	61,96%
2001	1.929.757	2.578.600	4.508.357	7.510.922	60,02%
2002	1.826.465	2.636.935	4.463.400	6.913.597	64,56%
2003	1.843.283	2.888.195	4.731.478	7.656.230	61,80%
2004	1.951.762	3.383.504	5.335.266	8.724.107	61,16%
2005	2.177.636	3.674.916	5.852.552	9.865.173	59,33%
2006	2.362.756	3.669.507	6.032.263	10.170.593	59,31%
2007	2.646.382	3.885.308	6.531.690	11.403.710	57,28%
2008	2.592.900	4.535.237	7.128.137	12.944.233	55,07%
2009	2.728.568	4.364.755	7.093.323	12.254.163	57,89%
2010	3.258.204	4.894.110	8.152.314	14.916.287	54,65%
2011	3.885.081	5.562.594	9.447.675	17.190.967	54,96%
2012	4.297.413	5.809.191	10.106.604	18.281.978	55,28%
2013	4.943.838	5.795.686	10.739.524	19.176.082	56,00%
2014	5.396.892	6.079.481	11.476.373	20.648.429	55,58%

2015	5.377.183	6.078.472	11.455.655	20.897.897	54,82%
2016	4.445.271	6.010.896	10.456.167	20.382.335	51,30%
2017	4.408.981	6.022.508	10.431.489	21.369.388	48,82%
2018	5.000.768	6.863.731	11.864.499	23.519.562	50,45%
2019	4.708.471	7.445.938	12.154.409	23.615.683	51,47%
2022	2.877.580	5.655.439	8.533.019	15.459.447	55,20%
2023	3.738.615	6.983.737	10.722.352	21.272.149	50,41%
2024	4.381.675	7.978.752	12.360.427	24.948.707	49,54%

Tabla 7: Comparación del tráfico entre Brasil y EE.UU./Europa respecto al total internacional.

Fuente: Elaboración propia con información estadística de la ANAC Brasil.

Es posible apreciar que también para Brasil, los destinos de EE. UU. Y de Europa representan una gran porción de los pasajeros internacionales, en promedio aportan con un considerable 56%.

Con los datos del informe de ANAC Brasil se construyeron gráficos para seleccionar la mejor tendencia y proyectar la demanda, se analizaron tanto los coeficientes de correlación de las tendencias como las cantidades proyectadas de pasajeros, con lo que quedaron solo dos posibles tendencias a elegir, de esa manera se seleccionó la tendencia lineal que se muestra a continuación (Ver el otro gráfico en Anexo 9):

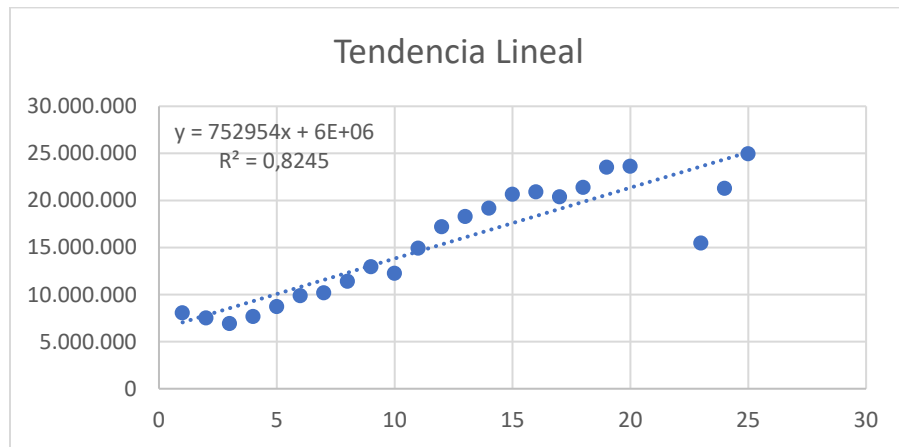


Gráfico 19: Gráfico de dispersión con tendencia lineal, donde el eje X representa los años ($I=2000$) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación de la recta y el coeficiente de correlación.

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos de ANAC Brasil.

La ecuación de la recta mostrada en el gráfico es la que se utilizó para desarrollar la proyección de demanda, así como también, se utilizó el promedio del aporte que realizan EE. UU. y Europa al total de pasajeros internacionales de Brasil para diferenciar los pasajeros objetivos dentro del total. Finalmente, se tienen 3 escenarios de participación de mercado, el optimista con un 1%, el neutro con un 0,5% y el conservador con un 0,1%, así se realizó la siguiente proyección de demanda:

año	Total Pax	PAX BRA- USA y EUR	1%	0,5%	0,1%
2025	25.576.804	14.309.972	143.100	71.550	14.310
2026	26.329.758	14.731.242	147.313	73.657	14.732
2027	27.082.712	15.152.513	151.526	75.763	15.153
2028	27.835.666	15.573.783	155.738	77.869	15.574
2029	28.588.620	15.995.053	159.951	79.976	15.996
2030	29.341.574	16.416.324	164.164	82.082	16.417
2031	30.094.528	16.837.594	168.376	84.188	16.838
2032	30.847.482	17.258.865	172.589	86.295	17.259
2033	31.600.436	17.680.135	176.802	88.401	17.681
2034	32.353.390	18.101.405	181.015	90.508	18.102
2035	33.106.344	18.522.676	185.227	92.614	18.523
2036	33.859.298	18.943.946	189.440	94.720	18.944
2037	34.612.252	19.365.216	193.653	96.827	19.366
2038	35.365.206	19.786.487	197.865	98.933	19.787
2039	36.118.160	20.207.757	202.078	101.039	20.208
2040	36.871.114	20.629.028	206.291	103.146	20.630

2041	37.624.068	21.050.298	210.503	105.252	21.051
2042	38.377.022	21.471.568	214.716	107.358	21.472
2043	39.129.976	21.892.839	218.929	109.465	21.893

Tabla 8: Proyección de demanda en Brasil hasta 2043 según cuotas del 1%, 0,5% y 0,1% del tráfico hacia EE.UU. y Europa.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 VIABILIDAD ECONÓMICA.

Para poder evaluar la viabilidad económica de explotar este tipo de aeronaves es necesario contrastar los costos operacionales con los ingresos (ambos ítems estimados).

De acuerdo con el cálculo realizado en el punto 3.1.2, se obtuvo que el costo operativo anual sería aproximadamente 1,9 billones de libras esterlinas o 2,55 billones de dólares estadounidenses para el año 2025. Los ingresos se obtienen al multiplicar el valor del ticket de avión por la proyección de demanda, de esta manera se obtienen los ingresos estimados y es posible realizar el contraste.

Para obtener el valor del ticket de avión se toma como referencia el valor medio que tenía un ticket para volar en el Concorde en el año 2003, el cual era USD 10.000. Adicionalmente, y utilizando la ecuación (1) del punto 3.1.2, se calculó el valor presente de esos 10.000 dólares, los que equivalen aproximadamente a USD 19.160. De esta manera se cuenta con dos versiones de precios que permitirán evaluar la configuración de estimación de costo y de ventas que otorgue la viabilidad económica.

3.4.1 SANTIAGO.

Tomando la proyección de demanda y los precios de los tickets se tiene para Santiago:

Año	Total PAX CL	PAX CL-USA	1%	10000 USD	19160 USD
2025	29.403.844	2.352.308	23.524	\$ 235.240.000	\$ 450.719.840
2026	30.806.224	2.464.498	24.645	\$ 246.450.000	\$ 472.198.200
2027	32.242.376	2.579.391	25.794	\$ 257.940.000	\$ 494.213.040
2028	33.712.300	2.696.984	26.970	\$ 269.700.000	\$ 516.745.200
2029	35.215.996	2.817.280	28.173	\$ 281.730.000	\$ 539.794.680
2030	36.753.464	2.940.278	29.403	\$ 294.030.000	\$ 563.361.480
2031	38.324.704	3.065.977	30.660	\$ 306.600.000	\$ 587.445.600
2032	39.929.716	3.194.378	31.944	\$ 319.440.000	\$ 612.047.040
2033	41.568.500	3.325.480	33.255	\$ 332.550.000	\$ 637.165.800
2034	43.241.056	3.459.285	34.593	\$ 345.930.000	\$ 662.801.880
2035	44.947.384	3.595.791	35.958	\$ 359.580.000	\$ 688.955.280
2036	46.687.484	3.734.999	37.350	\$ 373.500.000	\$ 715.626.000
2037	48.461.356	3.876.909	38.770	\$ 387.700.000	\$ 742.833.200
2038	50.269.000	4.021.520	40.216	\$ 402.160.000	\$ 770.538.560
2039	52.110.416	4.168.834	41.689	\$ 416.890.000	\$ 798.761.240
2040	53.985.604	4.318.849	43.189	\$ 431.890.000	\$ 827.501.240
2041	55.894.564	4.471.566	44.716	\$ 447.160.000	\$ 856.758.560
2042	57.837.296	4.626.984	46.270	\$ 462.700.000	\$ 886.533.200
2043	59.813.800	4.785.104	47.852	\$ 478.520.000	\$ 916.844.320

Tabla 9: Estimación de ingresos en Santiago según dos precios y demanda proyectada hasta 2043.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que ni aun considerando que se acapara un 1% del mercado chileno (Escenario bastante optimista), ni con el precio más alto, ni con el año con mayor número de pasajeros, la base de Santiago no llegaría a cubrir los gastos operativos de estas aeronaves.

Para la cantidad de pasajeros esperados en 2033, el ticket tendría que costar aproximadamente 77.000 dólares para cubrir el costo total estimado, mientras que para los valores de 10.000 y 19.160 dólares la cantidad de pasajeros tendría que ser 255.000 y 133.090 respectivamente, para recién cubrir el costo.

3.4.2 BOGOTÁ.

Para la base de Bogotá, al tratarse de un aeropuerto mucho más concurrido, que moviliza un mercado bastante más grande que el chileno, con una posición geográfica privilegiada dentro del continente, y según lo expuesto en el punto 3.3.3, los ingresos se proyectaron en 3 escenarios de cuota de mercado:

año	Total Pax	PAX COL- USA y EUR	1%	10000 USD	19160 USD
2025	17.366.646	7.267.942	72.679	\$ 726.794.200	\$ 1.392.537.687
2026	18.106.101	7.577.404	75.774	\$ 757.740.400	\$ 1.451.830.606
2027	18.845.558	7.886.867	78.869	\$ 788.686.700	\$ 1.511.123.717
2028	19.585.017	8.196.330	81.963	\$ 819.633.000	\$ 1.570.416.828
2029	20.324.478	8.505.795	85.058	\$ 850.579.500	\$ 1.629.710.322
2030	21.063.941	8.815.260	88.153	\$ 881.526.000	\$ 1.689.003.816
2031	21.803.406	9.124.726	91.247	\$ 912.472.600	\$ 1.748.297.502
2032	22.542.873	9.434.193	94.342	\$ 943.419.300	\$ 1.807.591.379
2033	23.282.342	9.743.661	97.437	\$ 974.366.100	\$ 1.866.885.448
2034	24.021.813	10.053.129	100.531	\$ 1.005.312.900	\$ 1.926.179.516
2035	24.761.286	10.362.599	103.626	\$ 1.036.259.900	\$ 1.985.473.968
2036	25.500.761	10.672.069	106.721	\$ 1.067.206.900	\$ 2.044.768.420
2037	26.240.238	10.981.540	109.815	\$ 1.098.154.000	\$ 2.104.063.064
2038	26.979.717	11.291.012	112.910	\$ 1.129.101.200	\$ 2.163.357.899
2039	27.719.198	11.600.485	116.005	\$ 1.160.048.500	\$ 2.222.652.926
2040	28.458.681	11.909.958	119.100	\$ 1.190.995.800	\$ 2.281.947.953
2041	29.198.166	12.219.433	122.194	\$ 1.221.943.300	\$ 2.341.243.363
2042	29.937.653	12.528.908	125.289	\$ 1.252.890.800	\$ 2.400.538.773
2043	30.677.142	12.838.384	128.384	\$ 1.283.838.400	\$ 2.459.834.374

Tabla 10: Estimación de ingresos en Bogotá según cuota de mercado optimista, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.

Fuente: Elaboración propia.

año	Total Pax	PAX COL- USA y EUR	0,5%	10000 USD	19160 USD
2025	17.366.646	7.267.942	36.340	\$ 363.397.100	\$ 696.268.844
2026	18.106.101	7.577.404	37.887	\$ 378.870.200	\$ 725.915.303
2027	18.845.558	7.886.867	39.434	\$ 394.343.350	\$ 755.561.859
2028	19.585.017	8.196.330	40.982	\$ 409.816.500	\$ 785.208.414
2029	20.324.478	8.505.795	42.529	\$ 425.289.750	\$ 814.855.161
2030	21.063.941	8.815.260	44.076	\$ 440.763.000	\$ 844.501.908
2031	21.803.406	9.124.726	45.624	\$ 456.236.300	\$ 874.148.751
2032	22.542.873	9.434.193	47.171	\$ 471.709.650	\$ 903.795.689
2033	23.282.342	9.743.661	48.718	\$ 487.183.050	\$ 933.442.724
2034	24.021.813	10.053.129	50.266	\$ 502.656.450	\$ 963.089.758
2035	24.761.286	10.362.599	51.813	\$ 518.129.950	\$ 992.736.984
2036	25.500.761	10.672.069	53.360	\$ 533.603.450	\$ 1.022.384.210
2037	26.240.238	10.981.540	54.908	\$ 549.077.000	\$ 1.052.031.532
2038	26.979.717	11.291.012	56.455	\$ 564.550.600	\$ 1.081.678.950
2039	27.719.198	11.600.485	58.002	\$ 580.024.250	\$ 1.111.326.463
2040	28.458.681	11.909.958	59.550	\$ 595.497.900	\$ 1.140.973.976
2041	29.198.166	12.219.433	61.097	\$ 610.971.650	\$ 1.170.621.681
2042	29.937.653	12.528.908	62.645	\$ 626.445.400	\$ 1.200.269.386
2043	30.677.142	12.838.384	64.192	\$ 641.919.200	\$ 1.229.917.187

Tabla 11: Estimación de ingresos en Bogotá según cuota de mercado neutra, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.

Fuente: Elaboración propia.

año	Total Pax	PAX COL- USA y EUR	0,1%	10000 USD	19160 USD
2025	17.366.646	7.267.942	7.268	\$ 72.679.420	\$ 139.253.769
2026	18.106.101	7.577.404	7.577	\$ 75.774.040	\$ 145.183.061
2027	18.845.558	7.886.867	7.887	\$ 78.868.670	\$ 151.112.372
2028	19.585.017	8.196.330	8.196	\$ 81.963.300	\$ 157.041.683
2029	20.324.478	8.505.795	8.506	\$ 85.057.950	\$ 162.971.032
2030	21.063.941	8.815.260	8.815	\$ 88.152.600	\$ 168.900.382
2031	21.803.406	9.124.726	9.125	\$ 91.247.260	\$ 174.829.750
2032	22.542.873	9.434.193	9.434	\$ 94.341.930	\$ 180.759.138
2033	23.282.342	9.743.661	9.744	\$ 97.436.610	\$ 186.688.545
2034	24.021.813	10.053.129	10.053	\$ 100.531.290	\$ 192.617.952
2035	24.761.286	10.362.599	10.363	\$ 103.625.990	\$ 198.547.397
2036	25.500.761	10.672.069	10.672	\$ 106.720.690	\$ 204.476.842
2037	26.240.238	10.981.540	10.982	\$ 109.815.400	\$ 210.406.306
2038	26.979.717	11.291.012	11.291	\$ 112.910.120	\$ 216.335.790
2039	27.719.198	11.600.485	11.600	\$ 116.004.850	\$ 222.265.293
2040	28.458.681	11.909.958	11.910	\$ 119.099.580	\$ 228.194.795
2041	29.198.166	12.219.433	12.219	\$ 122.194.330	\$ 234.124.336
2042	29.937.653	12.528.908	12.529	\$ 125.289.080	\$ 240.053.877
2043	30.677.142	12.838.384	12.838	\$ 128.383.840	\$ 245.983.437

Tabla 12: Estimación de ingresos en Bogotá según cuota de mercado conservadora, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.

Fuente: Elaboración propia.

Pese a que la cantidad de pasajeros esperada es mucho mayor en comparación con Santiago, tampoco es factible cubrir los costos operativos, aunque en un caso los ingresos esperados se acercan bastante.

Considerando la cantidad de pasajeros esperados para el año 2033, en los 3 escenarios de cuota de mercado, el ticket de vuelo debería tener un costo de 26.171 dólares en el caso optimista, 52.342 dólares en el caso neutro y 246.077 dólares en el caso conservador.

3.4.3 RECIFE.

Para la base de Recife, similar a los cálculos realizados con Bogotá y según lo expuesto en el punto 3.3.4, también se consideran los ingresos proyectados para 3 escenarios de cuotas de mercado; optimista, neutro y conservador:

año	Total Pax	PAX BRA-USA y EUR	1%	10000 USD	19160 USD
2025	25.576.804	14.309.972	143.100	\$ 1.430.997.200	\$ 2.741.790.635
2026	26.329.758	14.731.242	147.312	\$ 1.473.124.200	\$ 2.822.505.967
2027	27.082.712	15.152.513	151.525	\$ 1.515.251.300	\$ 2.903.221.491
2028	27.835.666	15.573.783	155.738	\$ 1.557.378.300	\$ 2.983.936.823
2029	28.588.620	15.995.053	159.951	\$ 1.599.505.300	\$ 3.064.652.155
2030	29.341.574	16.416.324	164.163	\$ 1.641.632.400	\$ 3.145.367.678
2031	30.094.528	16.837.594	168.376	\$ 1.683.759.400	\$ 3.226.083.010
2032	30.847.482	17.258.865	172.589	\$ 1.725.886.500	\$ 3.306.798.534
2033	31.600.436	17.680.135	176.801	\$ 1.768.013.500	\$ 3.387.513.866
2034	32.353.390	18.101.405	181.014	\$ 1.810.140.500	\$ 3.468.229.198
2035	33.106.344	18.522.676	185.227	\$ 1.852.267.600	\$ 3.548.944.722
2036	33.859.298	18.943.946	189.439	\$ 1.894.394.600	\$ 3.629.660.054
2037	34.612.252	19.365.216	193.652	\$ 1.936.521.600	\$ 3.710.375.386
2038	35.365.206	19.786.487	197.865	\$ 1.978.648.700	\$ 3.791.090.909
2039	36.118.160	20.207.757	202.078	\$ 2.020.775.700	\$ 3.871.806.241
2040	36.871.114	20.629.028	206.290	\$ 2.062.902.800	\$ 3.952.521.765
2041	37.624.068	21.050.298	210.503	\$ 2.105.029.800	\$ 4.033.237.097
2042	38.377.022	21.471.568	214.716	\$ 2.147.156.800	\$ 4.113.952.429
2043	39.129.976	21.892.839	218.928	\$ 2.189.283.900	\$ 4.194.667.952

Tabla 13: Estimación de ingresos en Recife según cuota de mercado optimista, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.

Fuente: Elaboración propia.

año	Total Pax	PAX BRA-USA y EUR	0,5%	10000 USD	19160 USD
2025	25.576.804	14.309.972	71.550	\$ 715.498.600	\$ 1.370.895.318
2026	26.329.758	14.731.242	73.656	\$ 736.562.100	\$ 1.411.252.984
2027	27.082.712	15.152.513	75.763	\$ 757.625.650	\$ 1.451.610.745
2028	27.835.666	15.573.783	77.869	\$ 778.689.150	\$ 1.491.968.411
2029	28.588.620	15.995.053	79.975	\$ 799.752.650	\$ 1.532.326.077
2030	29.341.574	16.416.324	82.082	\$ 820.816.200	\$ 1.572.683.839
2031	30.094.528	16.837.594	84.188	\$ 841.879.700	\$ 1.613.041.505
2032	30.847.482	17.258.865	86.294	\$ 862.943.250	\$ 1.653.399.267
2033	31.600.436	17.680.135	88.401	\$ 884.006.750	\$ 1.693.756.933
2034	32.353.390	18.101.405	90.507	\$ 905.070.250	\$ 1.734.114.599
2035	33.106.344	18.522.676	92.613	\$ 926.133.800	\$ 1.774.472.361
2036	33.859.298	18.943.946	94.720	\$ 947.197.300	\$ 1.814.830.027
2037	34.612.252	19.365.216	96.826	\$ 968.260.800	\$ 1.855.187.693
2038	35.365.206	19.786.487	98.932	\$ 989.324.350	\$ 1.895.545.455
2039	36.118.160	20.207.757	101.039	\$ 1.010.387.850	\$ 1.935.903.121
2040	36.871.114	20.629.028	103.145	\$ 1.031.451.400	\$ 1.976.260.882
2041	37.624.068	21.050.298	105.251	\$ 1.052.514.900	\$ 2.016.618.548
2042	38.377.022	21.471.568	107.358	\$ 1.073.578.400	\$ 2.056.976.214
2043	39.129.976	21.892.839	109.464	\$ 1.094.641.950	\$ 2.097.333.976

Tabla 14: Estimación de ingresos en Recife según cuota de mercado neutra, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.

Fuente: Elaboración propia.

año	Total Pax	PAX BRA-USA y EUR	0,1%	10000 USD	19160 USD
2025	25.576.804	14.309.972	14.310	\$ 143.099.720	\$ 274.179.064
2026	26.329.758	14.731.242	14.731	\$ 147.312.420	\$ 282.250.597
2027	27.082.712	15.152.513	15.153	\$ 151.525.130	\$ 290.322.149
2028	27.835.666	15.573.783	15.574	\$ 155.737.830	\$ 298.393.682
2029	28.588.620	15.995.053	15.995	\$ 159.950.530	\$ 306.465.215
2030	29.341.574	16.416.324	16.416	\$ 164.163.240	\$ 314.536.768
2031	30.094.528	16.837.594	16.838	\$ 168.375.940	\$ 322.608.301
2032	30.847.482	17.258.865	17.259	\$ 172.588.650	\$ 330.679.853
2033	31.600.436	17.680.135	17.680	\$ 176.801.350	\$ 338.751.387
2034	32.353.390	18.101.405	18.101	\$ 181.014.050	\$ 346.822.920
2035	33.106.344	18.522.676	18.523	\$ 185.226.760	\$ 354.894.472
2036	33.859.298	18.943.946	18.944	\$ 189.439.460	\$ 362.966.005
2037	34.612.252	19.365.216	19.365	\$ 193.652.160	\$ 371.037.539
2038	35.365.206	19.786.487	19.786	\$ 197.864.870	\$ 379.109.091
2039	36.118.160	20.207.757	20.208	\$ 202.077.570	\$ 387.180.624
2040	36.871.114	20.629.028	20.629	\$ 206.290.280	\$ 395.252.176
2041	37.624.068	21.050.298	21.050	\$ 210.502.980	\$ 403.323.710
2042	38.377.022	21.471.568	21.472	\$ 214.715.680	\$ 411.395.243
2043	39.129.976	21.892.839	21.893	\$ 218.928.390	\$ 419.466.795

Tabla 15: Estimación de ingresos en Recife según cuota de mercado conservadora, dos precios y demanda proyectada hasta 2043.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se muestra la mayor cantidad de pasajeros esperados, y existen escenarios donde si se logran cubrir los costos operativos.

Considerando la cantidad de pasajeros esperados para el año 2033, en los 3 escenarios de cuota de mercado, el ticket de vuelo debería tener un costo de 14.423 dólares en el caso optimista, 28.846 dólares en el caso neutro y 144.230 dólares en el caso conservador.

3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este apartado se analizarán los resultados obtenidos en este estudio:

Con los datos de ingresos y el costo se generaron los siguientes gráficos, a modo de resumen de la información:

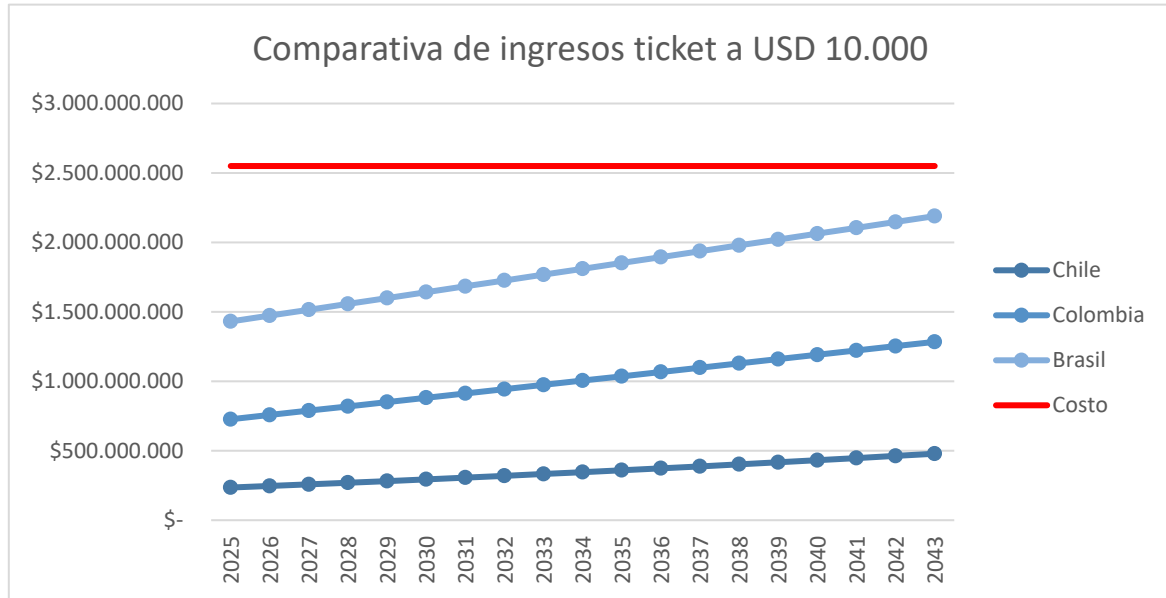


Gráfico 20: Comparativa de ingresos en bases Chile, Colombia y Brasil con un precio de venta de USD 10.000.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia con facilidad como los niveles de ingreso no superan el costo, el volumen de pasajeros esperados y el precio de USD 10.000 no son compatibles con la consecución del proyecto.

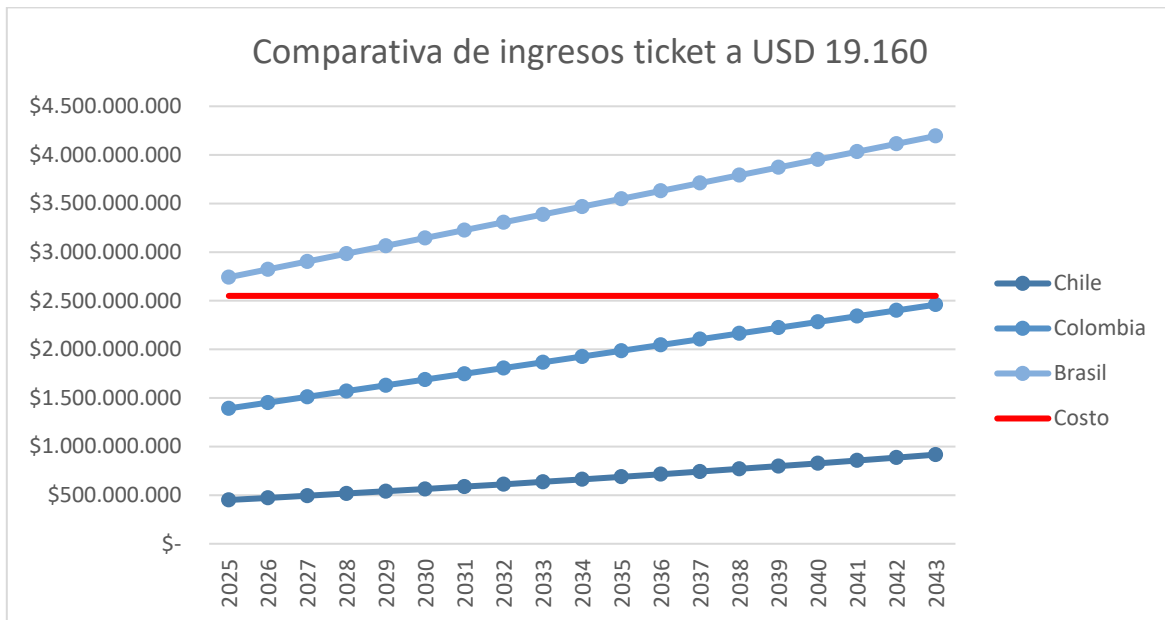


Gráfico 21: Comparativa de ingresos en bases Chile, Colombia y Brasil con un precio de venta de USD 19.160.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que desde el primer período proyectado Brasil supera los costos, mientras que los ingresos de Colombia se aproximan bastante a la barrera de los USD 2,55 billones para el año 2043.

Además, para la base Santiago, los datos demuestran que, incluso bajo el escenario más optimista (captación del 1% del mercado de pasajeros) y considerando el precio de ticket ajustado a valor presente (USD 19.160), los ingresos anuales no logran superar los 917 millones de dólares en 2043. Esta cifra representa tan solo aproximadamente un 36% del costo operativo anual.

Asimismo, se calculó que, para lograr cubrir el total del costo operativo estimado en el año 2033, año en que se espera que el Overture debute en su función operacional, el valor del ticket debería incrementarse a USD 77.000, lo cual excede ampliamente cualquier precio que haya tenido un ticket de avión.

Para la base Bogotá se presentan mejores resultados debido a su mayor tráfico internacional y posición geográfica estratégica. En el escenario optimista (1% de cuota en rutas hacia EE. UU. y Europa), los ingresos en 2043 alcanzan aproximadamente 2.460 millones de dólares,

acercándose bastante a los costos operativos sin llegar a cubrirlos realmente. Este valor representa cerca del 96% del total de costos. Sin embargo, en los escenarios neutro (0,5%) y conservador (0,1%), los ingresos se reducen a 1.230 y 246 millones respectivamente, lo cual demuestra la inviabilidad económica de operar estos aviones bajo esas condiciones de oferta y demanda.

El análisis del año 2033 muestra que, el valor del ticket necesario para cubrir los costos operacionales debería ser: USD 26.171 en el caso optimista, USD 52.342 en el caso neutro y USD 246.077 en el caso conservador de cuotas de mercado. Todos valores sumamente elevados para un precio de ticket de avión.

Ahora bien. La base Recife es la que presenta los resultados más alentadores de todos los casos estudiados. Resulta ser la única base que en alguno de los escenarios planteados logra superar los costos operativos con los ingresos estimados, incluso, lo lograría desde el primer año de proyección, aunque con el valor de ticket ajustado al valor actual.

Cabe mencionar que, considerando la cuota de mercado optimista y el valor de ticket de USD 10.000, no se logran cubrir los costos operativos en el período de proyección, pero si se acercan los ingresos, en 2043 se proyectan casi 2,19 billones de dólares, los que representan un 86% de los costos.

Al analizar los precios al año 2033, el ticket de vuelo debería costar: 14.423 dólares para el escenario optimista, 28.846 dólares para el escenario neutro y 144.230 dólares para el escenario conservador.

Se aprecia que en el escenario optimista el valor necesario para cubrir los costos se encuentra entre los dos precios considerados en el análisis, por lo que existiría la posibilidad de ofrecer los tickets a un valor menor que el precio ajustado a valor presente, por ejemplo 15.000 dólares.

Mientras que el precio obtenido para los otros dos escenarios es, nuevamente, inviable de posicionar en el mercado, aunque son aproximadamente la mitad del valor que debería tener el ticket en la base Bogotá.

Alternativamente, se analizó cuál es la cantidad de pasajeros requerida, para mantener el precio en USD 10.000 y para el valor ajustado USD 19.610, obteniendo la cantidad de 255.000 y 133.090 pasajeros al año respectivamente.

3.6 CONCLUSIONES.

Tal como se proyecta el mercado para Chile, incluso en la versión más optimista posible, el proyecto no alcanza la viabilidad económica, el nivel de ingresos está muy por debajo de los costos esperados, por lo que se evidencia claramente la inviabilidad.

Pese a que no se encontraron datos históricos detallados que pudieran respaldar una proyección de demanda focalizada al mercado estadounidense en Perú, las características de Lima son bastante similares a las de Santiago, son mercados parecidos en tamaño y ubicación geográfica, en ninguno de los casos el Overture llegaría a Europa, y aunque la cantidad de pasajeros que vuelen a EE. UU. Sea mayor desde Perú que de Chile, al comparar estos mercados con el colombiano o el brasileño se observa la gran diferencia de tamaño, por lo que en este caso con toda seguridad se extrapolan los resultados obtenidos en Santiago para Lima, por lo que se considera que tampoco sería viable el proyecto en esa base.

A pesar del gran tamaño del mercado colombiano, y que es posible considerar en la proyección de demanda un porcentaje de participación hacia los mercados estadounidense y europeo, y pese a que la proyección optimista logra acercarse bastante en nivel de ingreso a los costos, no se lograrían cubrir los costos operacionales en ninguno de los casos proyectados, y al analizar cuál sería el valor del ticket necesario en 2033 para cubrir los gastos, se obtuvieron valores demasiado elevados para ser considerados como posibles tarifas.

Finalmente, Recife es la única base que muestra números positivos; En el escenario optimista y con el valor que tenía el ticket del Concorde en 2003 ajustado a valor presente, se cubren los costos desde el primer período proyectado, mientras que con el mismo valor del ticket del Concorde en 2003 solo se cubriría el 86% del costo en 2043.

Para el escenario neutro, en ningún período se logra cubrir los costos, pero en 2043 con el mayor precio de ticket se lograría cubrir un 82% de los costos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

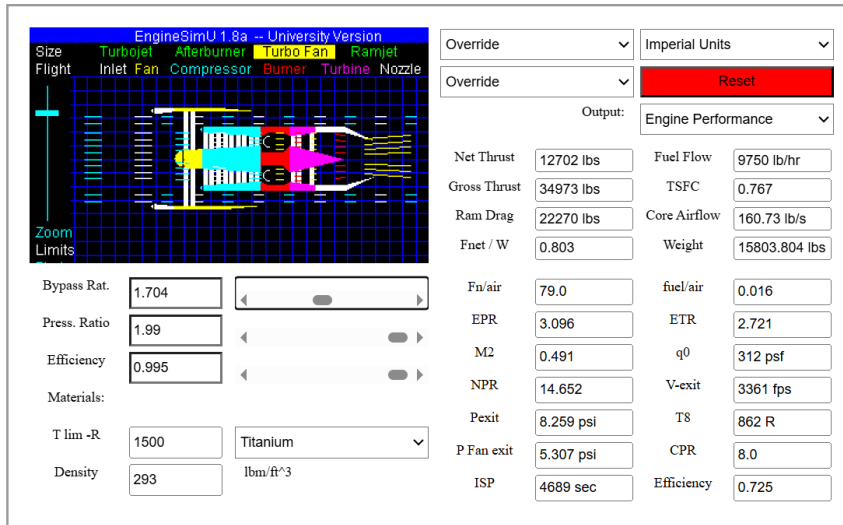
- Se espera que, en términos de características técnicas y de configuración, todos los proyectos que se están desarrollando para construir aeronaves supersónicas comerciales sean similares a como era el Concorde. Esto es; un largo y envergadura de dimensiones parecidas, configuración de 4 motores, ala tipo delta, una nariz cónica alargada. Todas estas características heredadas del concorde pueden ser mejoradas utilizando tecnologías más avanzadas, mejores programas de modelación y simulaciones, materiales más resistentes y livianos, motores y combustibles más eficientes.
- Tomando como base el concorde y múltiples estudios realizados en base a su funcionamiento se ha determinado que este tipo de proyectos pueden ser viables si se disminuye la velocidad de crucero, se restringe la capacidad de pasajeros y se utilizan motores más eficientes que no necesiten postquemadores.
- En términos aproximados, los aviones supersónicos podrían realizar las rutas actuales en la mitad del tiempo de vuelo que los aviones subsónicos.
- La piedra de tope esperada, la viabilidad económica, demostró que sigue erigiéndose como el máximo obstáculo. Las proyecciones de demanda, de cuota de mercado y de valor de ticket exhiben lo dificultoso que puede ser para el mercado latinoamericano lograr cubrir los altos costos operativos, dado que 3 de las 4 bases estudiadas no logran cubrir los costos en el período proyectado. Solo Recife muestra números positivos, y solo se da en el escenario más optimista, con la mayor participación de mercado y el mayor precio del ticket, lo cual es bastante difícil de lograr.
- Dado el alcance limitado de este tipo de aviones, y a las proyecciones de mercado realizadas, no sería posible abrir rutas que no existan ya. Por ejemplo, la estacionalidad hace que en momentos del año no se ofrezcan rutas directas a ciertas ciudades de Estados Unidos desde Santiago, pero en otros momentos del año si se tienen ofertas. Además, con el limitado alcance no es posible realizar vuelos directos cruzando el pacífico, lo cual se consideraba como gran atractivo dadas las relaciones comerciales de Latinoamérica con Asia.

Es posible deducir, que las condiciones que deben existir en el mercado latinoamericano son demasiado restrictivas, casi utópicas, por lo que en base a esto se podría recomendar:

- La aerolínea que planea la adquisición de estas aeronaves debe contar con presencia en los 4 países contemplados en este estudio, o en gran parte de Latinoamérica.
- Contar con este tipo de aviones podría dar una perspectiva diferente de cara al público, posicionando a la aerolínea como única en ese segmento, mejorando su visibilidad y reconocimiento en la región.
- De esta manera puede potenciar este tipo de vuelos con planificaciones de itinerario tal, que la base de Recife (o Bogotá) puedan actuar como un HUB supersónico en la región.
- El proyecto debe ir acompañado de un plan de marketing focalizado, enfocado en concientizar al cliente en cómo funcionará la venta de estos vuelos y su conexión con el HUB supersónico. Pero también, e incluso más importante, en qué es lo que el cliente gana al realizar rutas en la mitad del tiempo que lo haría con los otros vuelos ofrecidos en el mercado, la experiencia única y diferenciadora que vivirá, cómo puede aprovechar mejor su tiempo y que podría viajar a cerrar negocios a otros países y volver a su casa el mismo día.
- Se deben buscar otras oportunidades de mercado, como por ejemplo cerrar tratos con organizaciones de grandes eventos multinacionales, como eventos deportivos, congregaciones políticas, eventos económicos regionales, transporte de entidades gubernamentales, etc.

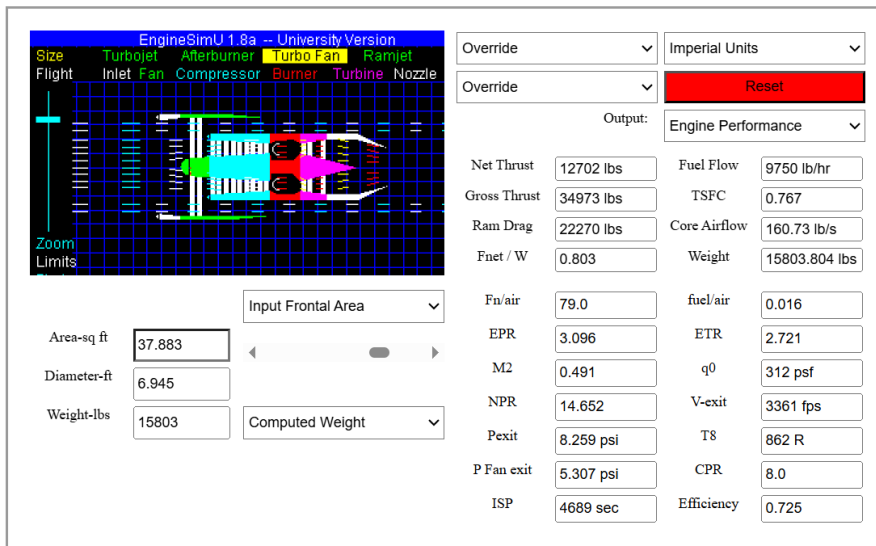
Estos puntos buscan potenciar la visibilidad de este tipo de vuelos, y maximizar sus ventas para que el proyecto sea viable, ya que existe la posibilidad de que ocurra, pero requiere de grandes esfuerzos en materia de inversión, planificación, innovación y venta.

ANEXOS



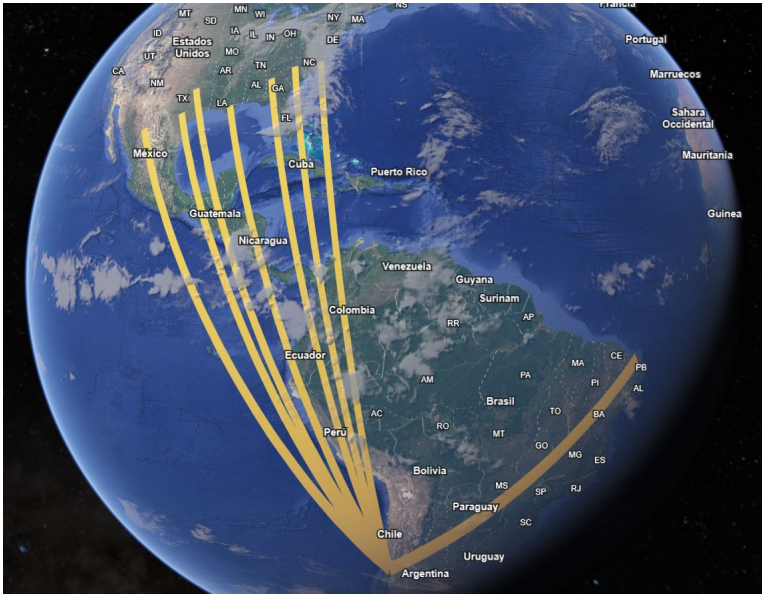
Anexo 1: Simulador de motores de la NASA, valores obtenidos para un motor médium bypass ratio de características similares al motor del Overture.

Fuente: Elaboración propia utilizando el simulador de la NASA (NASA, 2025)



Anexo 2: Simulador de motores de la NASA, valores obtenidos para un motor médium bypass ratio de características similares al motor del Overture.

Fuente: Elaboración propia utilizando el simulador de la NASA (NASA, 2025)



Anexo 3: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Santiago hacia distintas ciudades de América, considerando el alcance informado por Boom Supersonic.

Fuente: Elaboración propia utilizando la aplicación Google Earth de Google (Google Earth, 2025).



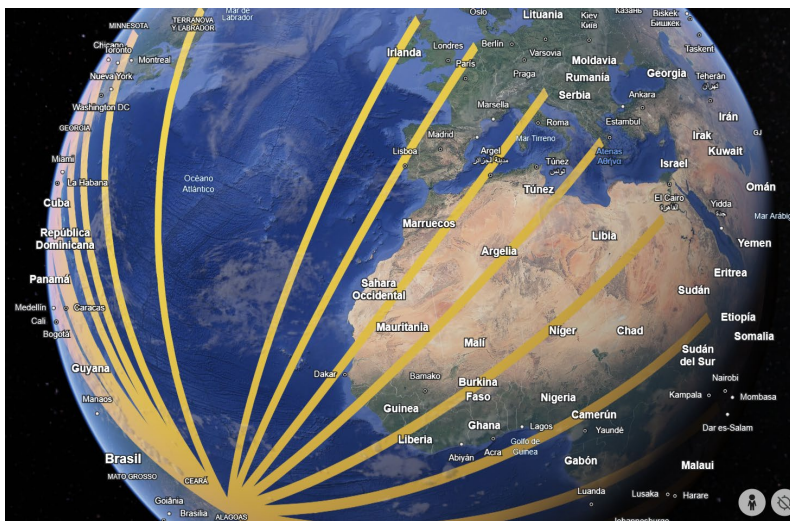
Anexo 4: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Lima hacia distintas ciudades de América, considerando el alcance informado por Boom Supersonic.

Fuente: Elaboración propia utilizando la aplicación Google Earth de Google (Google Earth, 2025).



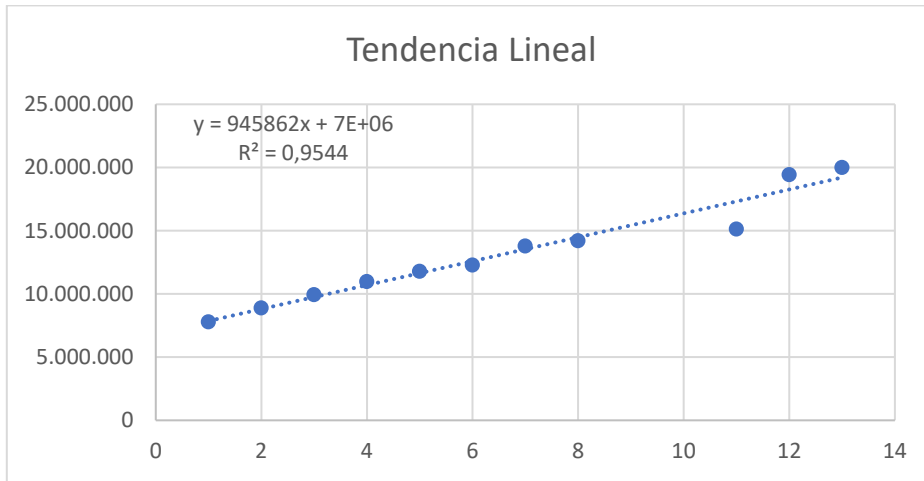
Anexo 5: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Bogotá hacia distintas ciudades de América, Europa y África considerando el alcance informado por Boom Supersonic.

Fuente: Elaboración propia utilizando la aplicación Google Earth de Google (Google Earth, 2025).



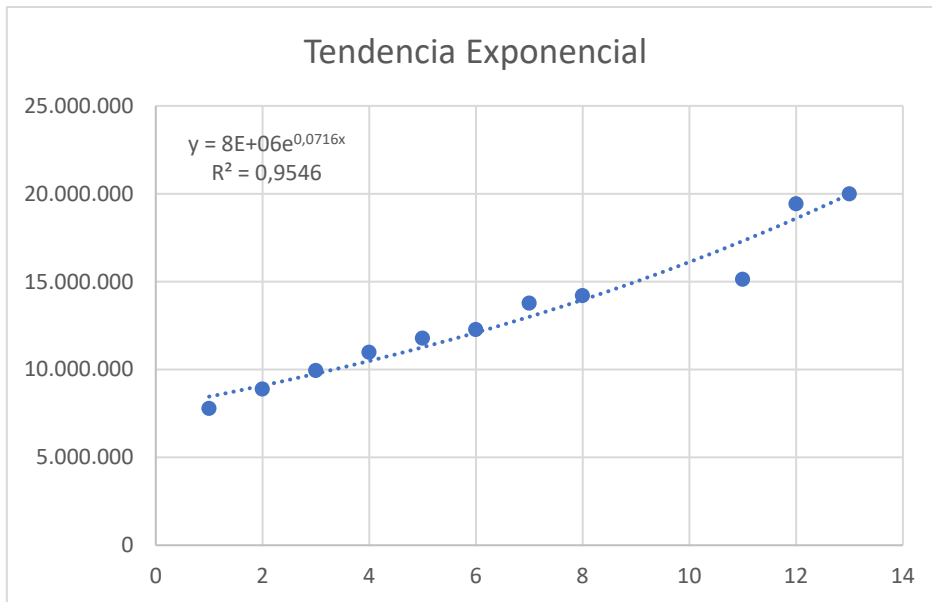
Anexo 6: Imagen tomada de la aplicación Google Earth, se realizó la medición desde el Aeropuerto de Recife hacia distintas ciudades de América, Europa y África considerando el alcance informado por Boom Supersonic.

Fuente: Elaboración propia utilizando la aplicación Google Earth de Google (Google Earth, 2025).



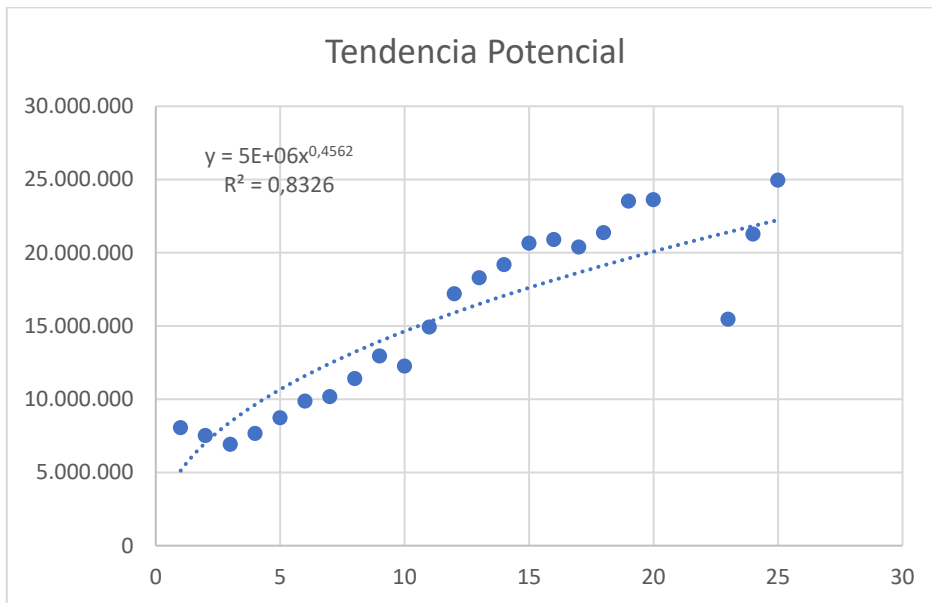
Anexo 7: Gráfico de dispersión con tendencia lineal, donde el eje X representa los años (1=2012) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación.

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos del MINCIT.



Anexo 8: Gráfico de dispersión con tendencia exponencial, donde el eje X representa los años (1=2012) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos del MINCIT.



Anexo 9: Gráfico de dispersión con tendencia potencial, donde el eje X representa los años ($I=2000$) y el eje Y la cantidad de pasajeros, incluyendo la ecuación y el coeficiente de correlación

Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos de ANAC Brasil.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aero Magazine. (6 de Agosto de 2020). *Aero Magazine Website*. Obtenido de https://www.aeromagazine.net/artigo/una-breve-explicacion-de-las-ondas-de-choque-como-en-la-explosion-en-beirut_1240.html
- Agencia Nacional de Aviación Civil de Brasil. (15 de mayo de 2025). *Agencia Nacional de Aviación Civil de Brasil*. Obtenido de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaMGRjNjdhdhOWUtYTJhNy00OGM2LTkzYWQkZTlmZjU3NmJlZTFliiwidCI6ImI1NzQ4ZjZlLWI0YTQtNGIyYi1hYjJhLWVmOTUyMjM2ODM2NiIsImMiOiR9>
- Airports Council International. (2022). *Aci Website*. Obtenido de https://store.aci.aero/form/2022-watf-executive-summary/?gclid=CjwKCAjwm4ukBhAuEiwA0zQxk8oxRwnKhzKlgaDghNcDgTGD_n_CrI5h2tCXbaqbbWgue02mWbCF1RoCGwgQAvD_BwE
- Astronauticachile. (2023). *Astronauticachile Web Site*. Obtenido de <https://astronauticachile.cl/accion-de-un-pionero/>
- Aviation benefits beyond borders. (2014). *Aviation benefits beyond borders web page*. Obtenido de <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/aviations-impact-on-the-environment/>
- Aviation Benefits Beyond Borders. (8 de Septiembre de 2020). *www.aviationbenefits.org*. Obtenido de <https://aviationbenefits.org/around-the-world/latin-america-and-the-caribbean/>
- Aviation benefits beyond borders. (2 de Junio de 2023). *Aviation benefits*. Obtenido de <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/sustainable-aviation-fuel/>
- Barrenechea, J. (13 de Noviembre de 2015). *Aerodinámica de aLta velocidad*. Obtenido de <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1K8WFFZ3eCSXA4SI-WXMVS5eLcPpBq34j>
- BBC. (22 de diciembre de 2018). *BBC News Mundo*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46607615>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). *BCN*. Obtenido de https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index_html#:~:text=Limita%20al%20Norte%20con%20Per%C3%BA,de%20m%C3%A1s%20de%208.000%20Km.
- Bonilla, J., Lopez, M., & Silva, V. (Julio de 2019). *Research Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/337482843_Use_of_Biofuels_in_the_Aeronautical_Industry_Case_of_the_Colombian_Air_Force
- Boom. (abril de 2023). *Boom supersonic*. Obtenido de <https://boomsupersonic.com/overture>
- Boom. (21 de abril de 2023). *Boom supersonic*. Obtenido de <https://boomsupersonic.com/overture>

Boom Supersonic. (2025). *www.boomsupersonic.com/faq*. Obtenido de <https://boomsupersonic.com/faq>

Departamento de Aeronáutica, Universidad Técnica Federico Santa María. (27 de febrero de 2017). *ACA Website*. Obtenido de <https://www.aca.cl/noticia/jetsmart-la-nueva-aerolinea-low-cost-que-operara-dentro-de-chile-con-precios-nunca-antes-vistos/>

Esmax. (23 de mayo de 2017). *www.esmax.cl*. Recuperado el 2025, de https://www.esmax.cl/wp-content/uploads/HDS-Esmax-Kerosene_aviacion_JET_A1.pdf

Federal Aviation Administration. (marzo de 2024). *www.faa.gov*. Obtenido de Federal Aviation Administration: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/12_phak_ch10.pdf

Federal Aviation Administration. (marzo de 2024). *www.faa.gov*. Obtenido de https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/13_phak_ch11.pdf

Funtanilla, J. G. (13 de Diciembre de 2016). *University of Colorado*. Obtenido de https://www.colorado.edu/faculty/kantha/sites/default/files/attached-files/157408-154174_-_joel_funtanilla_-_dec_13_2016_300_am_-_a_study_on_supersonic_commercial_aircraft.pdf

Google Earth. (4 de Mayo de 2025). *Google Earth Website*. Obtenido de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

Google Finance. (17 de Junio de 2025). *www.google.com/finance*. Recuperado el 17 de Junio de 2025, de <https://www.google.com/finance/quote/GBP-USD?sa=X&ved=2ahUKEwj9scHyxOCMAxV2LLKgHQ-nJusQmY0JegQIChAv&window=5D>

Heritage Concorde. (10 de marzo de 2025). <https://www.heritageconcorde.com/concorde-olympus-593-mk610-engines>. Recuperado el 2025, de Heritage Concorde.

IATA. (2023). Obtenido de IATA Web site: <https://www.iata.org/contentassets/bc041f5b6b96476a80db109f220f8904/voa-translations/el-valor-del-transporte-aereo-para-peru--sp.pdf>

IATA. (2023). Obtenido de IATA Web site: <https://www.iata.org/contentassets/bc041f5b6b96476a80db109f220f8904/voa-translations/el-valor-del-transporte-aereo-para-colombia--sp.pdf>

IATA. (2023). Recuperado el 2024, de IATA Web site: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/the-value-of-air-transport-to-brazil/>

IATA. (2023). *IATA Web Site*. Obtenido de <https://www.iata.org/contentassets/bc041f5b6b96476a80db109f220f8904/voa-translations/el-valor-del-transporte-aereo-para-chile--sp.pdf>

IATA. (04 de Junio de 2024). *www.iata.org*. Obtenido de <https://www.iata.org/en/publications/newsletters/iata-knowledge-hub/unveiling-the->

biggest-airline-costs/#:~:text=According%20to%20WATS%2C%20the%20three,fuel%20prices%20on%20operational%20expenses.

ICAO. (2 de Junio de 2023). *ICAO*. Obtenido de <https://www.icao.int/about-icao/History/Pages/ES/default.aspx>

ICAO. (2 de junio de 2023). *ICAO Web Site*. Obtenido de https://www.icao.int/about-icao/aviation-development/Pages/ES/SDG_ES.aspx

International council of clean transportation. (Enero de 2022). *The ICCT Website*. Obtenido de <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/aviation-global-supersonic-safs-feb22-1.pdf>

Junta de Aeronáutica Civil. (2009). *JAC Website*. Obtenido de <http://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/ESTUDIOS-005-EFICIENCIA-MERCADO-TRANSPORTE-AEREO-2009.pdf>

Junta de Aeronáutica Civil. (2021). *Sitio web de la Junta de Aeronáutica Civil*. Obtenido de <http://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2021/12/Anuario-2020-final.pdf>

Junta de Aeronáutica Civil. (2023). *Sitio web de la Junta de Aeronáutica Civil*. Obtenido de <http://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/Infogr%C3%A1fico-mensual-Dic22.pdf>

Junta de Aeronáutica Civil. (05 de mayo de 2025). *Junta de Aeronáutica Civil Web Site*. Obtenido de <https://www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/>

Latam Airlines Group. (Junio de 2023). *Latam Airlines Web Site*.

Ministerio del Comercio, Industria y Turismo de Colombia. (15 de mayo de 2025). *Ministerio del Comercio, Industria y Turismo Web Site*. Obtenido de <https://portucolombia.mincit.gov.co/tematicas/flujo-aereo-en-colombia>

NASA. (Marzo de 2025). *www.grc.nasa.gov*. Obtenido de <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/enginesimu/>

NASA; Anderson, John D. (Enero de 2001). *NASA Website*. Obtenido de <https://history.nasa.gov/SP-4219/Chapter3.html>

Santana, M. V. (21 de 04 de 2023). *Sociedad aeronautica*. Obtenido de <https://www.sociedadaeronautica.org/la-historia-del-avion-supersonico-de-pasajeros-el-concorde/>

Simple Flying. (23 de Noviembre de 2023). *www.simpleflying.com*. Obtenido de <https://simpleflying.com/concorde-cost/#:~:text=High%20fares%20would%20undoubtedly%20prove,billion%20when%20adjusted%20for%20inflation.>

Wiltshire, J., & Jaimurzina, A. (30 de Julio de 2017). *www.cepal.org*. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3b1e7acc-2c7a-4968-9f5d-4c548cbf455f/content>