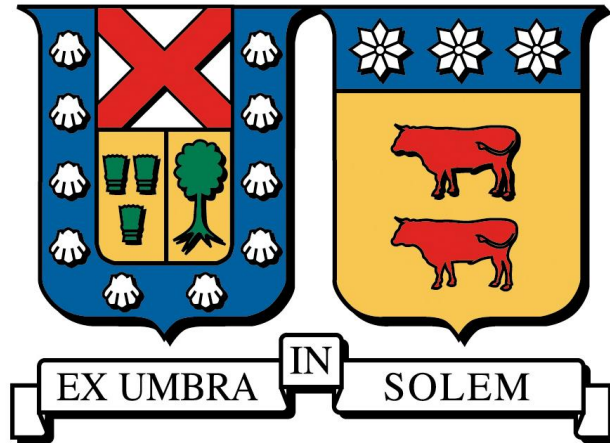


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
ACADEMIA DE CIENCIAS AERONÁUTICAS  
SANTIAGO – CHILE



ESTUDIO DE LAS MEDIDAS DESTINADAS A DISMINUIR LA HUELLA DE  
CARBONO GENERADA POR AVIONES AIRBUS A320NEO Y BOEING  
787DREAMLINER.

ISRAEL RÍOS GARRIDO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA: Sr. Martin Potters  
PROFESOR CORREFERENTE: Sra. Anamaria Arpea



## RESUMEN EJECUTIVO

---

Los gases de efecto invernadero, son un proceso natural de la tierra y su función es mantener una temperatura global en la que puede existir vida, sin embargo, la actividad humana genera un aumento en la emisión de estos gases, provocando un cambio en los ecosistemas. Actualmente, la falta de consenso a nivel mundial en materia medioambiental, ha generado un retraso en la implementación de medidas que permitan a los diversos estados controlar y reducir la emisión de estos gases, que han tenido un aumento debido a la actividad industrial.

La aviación contribuye en 2% a las emisiones de efecto invernadero a nivel mundial, produciendo principalmente dióxido de carbono, el cual es generado por el uso de combustible fósil, elemento fundamental para que se desarrollen sus operaciones. La OACI y la IATA, impulsan constantemente medidas que reduzcan el consumo de combustible, siendo el factor fundamental para disminuir su contribución al cambio climático, además, tienen un rol importante, abogando para que sus estados miembros no frenen el crecimiento y desarrollo de la actividad aeronáutica, mediante medidas que aumenten el precio de las operaciones.

En el presente estudio, se recopilaron las medidas utilizadas por las aerolíneas con el fin de reducir su huella de carbono, medidas que se dividen en operacionales, tecnológicas y herramientas económicas, para luego estimar la reducción de las emisiones de dióxido de carbono que pueden generar la implementación algunas de estas medidas en las aeronaves de última generación: Airbus A320neo y Boeing B787 Dreamliner.

Finalmente, se realizó una proyección del aumento de emisiones esperado para rutas de corto, mediano y largo alcance, con horizonte el año 2035, de manera de visualizar la importancia de que las aerolíneas puedan producir nuevas tecnologías que le ayuden a disminuir sus emisiones.

## EXECUTIVE SUMMARY

---

Greenhouse gases are a natural process of the earth and their function is to maintain a global temperature in which life can exist, nevertheless, human activity generates an increase in the emission of these gases, causing a change in ecosystems. Currently, the lack of global consensus regarding environmental matters has led to a delay in the implementation of measures to enable the various states to control and reduce the emission of these gases, which have increased due to industrial activity.

Aviation contributes 2% global Greenhouse emissions, producing mainly carbon dioxide, which is generated by the use of fossil fuel, a fundamental element for its operations to take place. ICAO and IATA are constantly pushing for measures that help to reduce fuel consumption, being the key factor in reducing their contribution to climate change, and have an important role, advocating for its state members not to curb growth and development of aeronautical activity, through measures that increase the price of his operations.

In this study, the measures used by airlines to reduce their carbon footprint were collected, that are divided into operational, technology and economic tools, and then estimate the reduction of carbon dioxide emissions that may generate the implementation of some of these measures in state-of-the-art aircraft: Airbus A320neo and Boeing B787 Dreamliner.

Finally, a projection of the expected increase in emissions was made for short-, medium- and long-range routes, with a 2035 horizon, to visualize the importance of airlines being able to produce new technologies to help them reduce their emissions.

# ÍNDICE GENERAL

---

Índice de figuras.....	6
Índice Tablas .....	7
Glosario de Términos .....	9
Introducción .....	10
1. Antecedentes .....	12
1.1. Justificación del tema.....	12
1.2. Objetivos .....	13
1.3. Metodología .....	13
1.4. Alcance.....	15
2. Estado del Arte.....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.2. Marco teórico .....	20
2.2.1. Huella de Carbono.....	20
2.2.2. Compensación de carbono.....	22
2.2.3. La aviación y la protección ambiental.....	23
2.2.4. Protección del medio ambiente OACI.....	23
2.2.5. CORSIA. ....	24
2.2.6. IATA y el cambio climático.....	26
2.2.7. Cuatro pilares IATA.....	26
2.2.8. Combustible Sostenible para la Aviación. ....	28
2.2.9. Factores para impulsar la aviación y economías en Latinoamérica. ....	29
2.2.10. Situación en Latinoamérica .....	30
2.2.11. Programa compensación de carbono IATA. ....	31
2.2.12. Sistema Gestión ambiental .....	33
2.2.13. Conferencia de las partes.....	35
2.2.14. Situación en Chile. ....	36
2.2.15. Pronóstico de demanda.....	38
3. Desarrollo .....	40
3.1. Resultados COP25.....	40
3.2. Situación en América Latina .....	43
3.3. Medidas impositivas ineficientes. ....	46

3.4.	Medidas para la disminución de emisiones.....	48
3.5.	Estimación de la reducción de emisiones.....	63
3.6	Proyección de emisiones de CO2.....	76
3.7.	Implementación de medidas.....	79
4.	Conclusiones.....	81
5.	Bibliografía.....	84
6.	Anexos.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1: Pasos principales de la metodología de investigación. Elaboración propia.....	15
Figura 2: Distribución porcentual de las emisiones de GEI a nivel global. Elaboración propia. Fuente: Datos del IPCC, climate change.....	20
Figura 3: Emisiones de GEI por sector económico. Elaboración Propia. Fuente: Datos IPCC climate change .....	22
Figura 4: Variación de emisiones de CO2 en la industria aeronáutica. Fuente: IATA. ....	27
Figura 5: Porcentaje por regiones de pasajeros transportados en 2018. Elaboración propia. Fuente: IATA, Estadísticas de transporte 2018.....	31
Figura 6: Factores claves para el cálculo de la compensación de carbono. Elaboración propia. Fuente: IATA Carbon Offset Program, 2016.....	32
Figura 7: Ciclo de Deming mejora continua. Elaboración propia. Fuente: Gestión en calidad de servicio – UTFSM.....	35
Figura 8: Principales elementos del proyecto de ley marco de cambio climático. Elaboración Propia. Fuente: MMA.....	37
Figura 9: Diagrama de dispersión que indica relación entre dos variables. Fuente: Evaluación de proyectos generales, UTFSM.....	39

# ÍNDICE TABLAS

---

Tabla 1: Precios promedios por periodo en euros de una tonelada de CO2, en compra y venta (EUA) y en créditos de carbono (CER). Elaboración propia. Fuente: SendeCO2, 2020.....	23
Tabla 2: Precio de las tasas de embarque de los aeropuertos ubicados en ciudades de Latinoamérica. Elaboración Propia. Fuente: Sitios Web de los aeropuertos respectivos.....	44
Tabla 3: Precio de las tasas de embarque de los aeropuertos ubicados en ciudades de Europa (UE). Elaboración Propia. Fuente: Sitios Web de los aeropuertos respectivos.....	45
Tabla 4: SAF aprobados para su uso comercial. Elaboración Propia. Fuente: OACI.....	51
Tabla 5: Aerolíneas que obtuvieron el certificado IEnvA Etapa 1, el alcance en el cual lo obtuvieron y su respectiva vigencia. Elaboración Propia. Fuente: IATA .....	61
Tabla 6: Aerolíneas que obtuvieron el certificado IEnvA Etapa 2, el alcance en el cual lo obtuvieron y su respectiva vigencia. Elaboración Propia. Fuente: IATA .....	62
Tabla 7: Diferencia de consumo de combustible por aeronaves para las rutas seleccionadas. Elaboración propia. Fuente: OACI.....	64
Tabla 8: Cantidad de emisiones de CO2 promedio de los modelos de aeronaves de nueva y antigua generación, para sus respectivas rutas. Elaboración Propia. ....	65
Tabla 9: Combustible consumido por APU y emisiones CO2 que este genera, para los modelos A320neo y B787. Elaboración propia. Fuente: P&W .....	66
Tabla 10: Cantidad de combustible ahorrado considerando la eficiencia óptima de la medida de lavado de motores. Elaboración propia. ....	67
Tabla 11: Cantidad de asientos de clase económica existente en las aeronaves A320neo y B787. Elaboración propia. ....	68
Tablas 12: Especificaciones de peso de los asientos estándar y los ligeros. Elaboración propia.....	69
Tabla 13: Combustible y emisiones asociadas a la utilización de los dos tipos de asientos para cada ruta. Elaboración propia. ....	69
Tabla 14: Características de diversos tipos de contenedores tipo AKE. Elaboración propia.....	70
Tabla 15: Estimación de combustible asociado a un contenedor dependiendo del modelo y la respectiva cantidad de emisión asociado. Elaboración propia. ....	71
Tabla 16: Peso en kilogramos de los distintos modelos de pallets. Elaboración propia. ....	71
Tabla 17: Estimación de combustible asociado a la utilización de cada modelo de pallets y su respectivo nivel de emisiones. Elaboración propia. ....	72
Tabla 18: Datos promedios de la industria requeridos para realizar las estimaciones de CO2 por tramo asociados a un pasajero (OFFSET). Elaboración Propia. Fuente: Airbus, Boeing y OACI. ..	74
Tabla 19: Cantidad de emisiones a compensar, medidas en toneladas de CO2 y en USD, para los tramos seleccionados. Elaboración propia. ....	75
Tabla 20: Estimación de pasajeros transportados para la ruta SCL-LIM, y su respectiva emisión de CO2 asociada. Elaboración propia. ....	77

Tabla 21: Estimación de pasajeros transportados para la ruta SCL-MIS, y su respectiva emisión de CO2 asociada. Elaboración propia. ....	78
Tabla 22: Estimación de pasajeros transportados para la ruta SCL-MAD, y su respectiva emisión de CO2 asociada. Elaboración propia. ....	78
Tabla 23: Ahorro de combustible que produce la implementación de las medidas. Elaboración Propia. ....	79
Tabla 24: Disminución porcentual de las emisiones de CO2 aplicando las medidas. Elaboración propia.....	80
Tabla 25: Proyección de transporte de pasajeros para la ruta SCL-LIM mediante la utilización de regresión lineal, adecuando la demanda a la situación actual. Elaboración propia.....	93
Tabla 26: Proyección de transporte de pasajeros para la ruta SCL-MIA mediante la utilización de regresión lineal, adecuando la demanda a la situación actual. Elaboración propia.....	94
Tabla 27: Proyección de transporte de pasajeros para la ruta SCL-MAD mediante la utilización de regresión lineal, adecuando la demanda a la situación actual. Elaboración propia.....	95
Tabla 28: Estimación de las emisiones de CO2 generadas por el transporte de pasajeros con horizonte 2035 para la ruta SCL-LIM. Elaboración propia. ....	96
Tabla 29: Estimación de las emisiones de CO2 generadas por el transporte de pasajeros con horizonte 2035 para la ruta SCL-MIA. Elaboración propia. ....	97
Tabla 30: Estimación de las emisiones de CO2 generadas por el transporte de pasajeros con horizonte 2035 para la ruta SCL-MAD. Elaboración propia. ....	98

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

<b>ALTA</b>	Asociación Latinoamericana de Transporte Aéreo	
<b>APU</b>	Unidad de Potencia Auxiliar	Auxiliary Power Unit
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales	American Society for Testing and Materials
<b>ATAG</b>	Grupo Acción sobre Transporte Aéreo	Air Transport Action Group
<b>ATC</b>	Control Tráfico Aéreo	Air traffic control
<b>CAAFI</b>	Iniciativa de Combustibles Alternativos de Aviación Comercial	Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative
<b>CAEP</b>	Comité de Protección Ambiental de la Aviación	Committee on Aviation Environmental Protection
<b>CER</b>	Créditos de Carbono	
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco Naciones Unidas sobre Cambio Climático.	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>COP</b>	Conferencia de la Partes	Conference of the Parties
<b>DGAC</b>	Dirección General Aeronáutica Civil	
<b>EMS</b>	Sistema de Gestión Ambiental	Environmental Management System
<b>EUA</b>	Derecho de Emisión	Emission Allowance
<b>GEI</b>	Gases Efecto Invernadero	
<b>IATA</b>	Asociación Transporte Aéreo Internacional	International Air Transport Association
<b>IEnvA</b>	Evaluación Ambiental IATA	IATA Environmental Assessment
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>JAC</b>	Junta Aeronáutica Civil	
<b>MDL</b>	Mecanismo Desarrollo Limpio	
<b>MMA</b>	Ministerio Medio Ambiente	
<b>MRV</b>	Monitorear, Reportar y Verificar	Monitoring, Reporting and Verification
<b>NCD</b>	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional	Nationally Determined Contributions
<b>OACI</b>	Organización Aeronáutica Civil Internacional	International Civil Aviation Organization
<b>OEM</b>	Fabricante Original de Equipo	Original equipment manufacturer
<b>OMM</b>	Organización Meteorológica Mundial	World Meteorological Organization
<b>ONU</b>	Organización Naciones Unidas	United Nations
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente	
<b>SAF</b>	Combustible Sustentable de Aviación	Sustainable aviation fuels

# INTRODUCCIÓN

---

La atmósfera está compuesta por diversos tipos de gases, los cuales en su proporción adecuada cumplen su cometido. Se ha de tener en cuenta que el efecto invernadero es un proceso natural de la tierra que permite las condiciones adecuadas para exista vida en ella, sin el efecto invernadero la temperatura promedio de la tierra sería 18°C bajo cero.

El problema recae en que las actividades del ser humano aumentan las emisiones de estos gases, por lo que la atmósfera retiene más calor del necesario provocando un aumento en la temperatura global del planeta y así se produzca lo que se conoce como calentamiento global, el cual es el fenómeno principal del cambio climático.

Uno de los factores que ha acelerado el cambio climático es el constante aumento de la población a nivel mundial, esta genera que se necesiten cada vez más recursos lo que acelera la emisión de gases de efecto invernadero en los procesos de producción. El cambio climático trae consigo diversas consecuencias ambientales y sociales, como el cambio en ecosistemas, desertificación, derretimiento de los polos y subida del nivel del mar, acidificación de los océanos, fenómenos meteorológicos extremos, extinción de especies, migraciones masivas y pérdida de la calidad de vida.

Es importante tener en cuenta que el cambio climático no se puede evitar, sin embargo, se pueden realizar acciones para reducir significativamente las consecuencias producidas por este, mediante la aplicación de medidas como la mitigación de sus efectos, adaptación a entornos y acuerdos internacionales.

La aviación y la contaminación del medioambiente se puede abordar desde distintos puntos de vista, sin embargo, la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera ocurre en la quema de combustibles fósiles en sus operaciones, además de la contaminación acústica que se produce, afectando principalmente a las localidades aledañas a los aeropuertos. Inicialmente en los acuerdos no se estipulaban regulaciones muy estrictas en cuanto al medioambiente, sin embargo, hoy en día el tema tiene una importancia para los distintos entes internacionales.

La OACI, organización aeronáutica civil internacional, ha trabajado constantemente en la materia con el fin de establecer objetivos específicos para la aviación en cuanto a la reducción de emisiones y abordando con mayor énfasis la temática medioambiental, teniendo en sus filas diversos comités de especialistas. Por otro lado, la IATA, asociación de transporte aéreo internacional, se ha sumado a la búsqueda de mejores prácticas y nuevas tecnologías que aporten a que la industria aeronáutica se desarrolle de manera más sustentable.

La industria aérea se ha visto en constante crecimiento y desarrollo, lo que ha generado un aumento en las personas que utilizan esta vía para transportarse, el caso de la industria en Chile no ha sido la excepción, en el año 2014 el número de pasajeros transportados dentro de Chile fue de 9.813.590 (Informe estadístico Junta aeronáutica civil, 2014) y en el año 2019 esta cantidad de pasajeros transportados domésticamente fue de 14.985.505 pasajeros (Informe estadístico Junta aeronáutica civil, 2019), lo que entrega un crecimiento de un 52,7% en el transporte de pasajero en los últimos cinco años a nivel nacional, si bien la industria nacional presenta decaimientos temporales la tendencia es clara y refleja el alza en el tráfico aéreo a través de los años.

En vista y respondiendo al constante crecimiento de la industria, tomando como referencia la realidad en Chile, se deben buscar alternativas con el fin de disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Esto se debe tratar mediante el trabajo en conjunto de los estados en políticas a cerca del cambio climático, la incorporación de programas ambientales ofrecidos y/o impuestos por los entes regulatorios, aplicación de nuevas tecnologías y mejora en la eficiencia de las operaciones, con el fin de generar una disminución en el consumo de combustible y por consecuencia disminuir las emisiones que genera la industria aeronáutica.

# 1. ANTECEDENTES

---

## 1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La actividad del ser humano ha generado emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera generando que la temperatura del planeta aumente, produciendo de esta manera alteraciones en el clima que de forma natural no se producirían, desde la revolución industrial hasta el 2019 (segundo año más caluroso de la historia según la OMM) la temperatura global ha aumentado en 1,1°C y aumentaría entre 3-5°C de no tomar las medidas correspondientes, en cuanto a las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, estas llegaron a 407,8 partes por millón en 2018 siendo esta la concentración más alta que ha sido registrada desde que se hace este seguimiento (OMM,2019).

En relación a la industria aeronáutica, esta representa un 2% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> producidas por el hombre, produciendo en 2017 un total de 859 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (IATA, 2019). La aviación internacional se encuentra en constante desarrollo y en una tendencia de tráfico aéreo en alza, se estima que el crecimiento sea de un 5,5% anual, según lo expresado por la IATA, por ende, al no tomarse las medidas pertinentes en la actualidad los gases de efecto invernadero seguirán en aumento y afectarán de forma nociva el ecosistema, la flora y fauna (Acciona, 2020).

En Chile, en el tráfico doméstico de pasajeros se registró que en diciembre del año 2019 fueron transportados 1.356.542 pasajeros, lo que representa un aumento del 2,3% respecto al mismo periodo del año 2018, y tomando en cuenta el periodo de enero-diciembre del año 2019 hubo un crecimiento del 11,3% en el tráfico doméstico de pasajeros. En cuanto al tráfico internacional de pasajeros en el periodo enero-diciembre del año 2019 fueron transportados 11.101.107 pasajeros con origen o destino internacional, lo que representa un crecimiento del 0,2% con respecto al mismo periodo del año anterior, esto indica que en el mercado chileno en el último año hubo un crecimiento de tráfico aéreo de un 6,3%, crecimiento que está por encima de proyectado por la IATA (5,5%) (JAC, 2019).

En la COP 25, realizada en Madrid, España, el año 2019, Chile es participe junto a otros 72 países en llamado “acuerdo de París”, en el cual se compromete para reducir las emisiones

de CO2 a partir del año 2020 con el objetivo de alcanzar una neutralidad del carbono para el año 2050 y de esta manera evitar el aumento excesivo de la temperatura global del planeta y mantenerla constante a finales de siglo (MMA, 2019).

De esta manera las aerolíneas deberán tomar medidas para adaptarse a estos requerimientos de reducción de huella de carbono, tomando conciencia del aporte económico que representan para el país, ya que, un 2,8% del PIB del país está sustentado por el transporte aéreo y por los turistas extranjeros que llegan por vía aérea (El valor de la aviación en Chile, IATA, 2019).

## **1.2. OBJETIVOS**

Objetivo General.

- Recopilar las medidas operacionales, tecnológicas y voluntarias que aplican globalmente las aerolíneas con el fin disminuir las emisiones de CO2.

Objetivos Específicos.

- Identificar medidas impositivas.
- Definir las medidas operativas que utilizan las aerolíneas para reducir su huella de carbono.
- Analizar programas voluntarios que pueden adoptar las aerolíneas para mitigar su impacto ambiental
- Estimar la reducción de la huella de carbono en aviones A320neo y B787 Dreamliner al aplicar las medidas definidas anteriormente.

## **1.3. METODOLOGÍA**

Se llevará a cabo una revisión de las recomendaciones de la IATA y la OACI acerca del desarrollo de la industria.

- Se revisará la información existente en cuanto a la relación entre los entes de la aviación y las organizaciones a nivel mundial que tratan temas medioambientales.

- Se revisarán a su vez las recomendaciones de la IATA y la OACI a sus estados miembros para que el desarrollo de la industria sea continuo.
- Identificar las medidas que podrían frenar el crecimiento del tráfico aéreo.

Se revisará la información disponible a cerca de las medidas que se utilizan en las aerolíneas para reducir la huella de carbono.

- Se hará una revisión de la información existente en este ámbito, consultando de primera fuente la información entregada por las aerolíneas sobre las medidas adoptadas para reducir la huella de carbono.
- Se realizará una revisión de los programas que propone la IATA y la OACI para que las aerolíneas puedan mitigar su impacto ambiental.

Basado en el tráfico aéreo internacional de los operadores chilenos, se realizará una proyección del aumento de emisiones que dichos operadores generarán teniendo como horizonte el año 2035.

- Se realizarán proyecciones teniendo en cuenta dos escenarios de crecimiento de tráfico aéreo, el crecimiento esperado antes de la crisis sanitaria y el crecimiento esperado post crisis sanitaria.
- Estimación de la reducción de emisiones que generan las medidas operativas adoptadas por las aerolíneas y de la cantidad de carbono que deberán compensar los operadores chilenos debido al aumento de sus operaciones para lograr la neutralidad de carbono.



Figura 1: Pasos principales de la metodología de investigación. Elaboración propia.

#### **1.4. ALCANCE**

El alcance de este trabajo es de tipo descriptivo, ya que busca identificar y recopilar las prácticas más comunes y eficientes en la reducción de la huella de carbono en las aerolíneas a nivel global. Principalmente se busca analizar y recopilar aquellas prácticas de las principales aerolíneas comerciales a nivel mundial en cuanto a la reducción del consumo de combustible y programas de compensación de carbono.

El alcance temporal es de tipo longitudinal, ya que pretende conocer la evolución de un fenómeno a lo largo del tiempo, tal como lo es el aumento del tráfico aéreo a través de los años y las emisiones de dióxido de carbono que estas operaciones generarán al medio ambiente.

## 2. ESTADO DEL ARTE

---

### 2.1. ANTECEDENTES

El mayor desafío para los tiempos de hoy es la contante lucha contra el cambio climático, en el último tiempo se han presentado constantes cambios en la meteorología, los cuales amenazan la producción de alimentos, podrían generar aumentos en los niveles del mar que podrían resultar en inundaciones de ciudades o partes de ellas, se está en un momento decisivo en esta lucha y a nivel global se debe tener como una de las prioridades el comenzar a tomar medidas, ya que si esto no sucede los daños podrían llegar a ser irremediables (Naciones Unidas, 2020).

La industria aeronáutica y el cambio climático no se ven limitados por las fronteras entre los países por este motivo es de suma importancia darle un enfoque centrado en la colaboración entre los distintos estados, debido a esto las comunidades internacionales han llevado a cabo convenios que abarquen estos temas:

- Convenio de Chicago: fue realizado en 1944, y tuvo como objetivo actualizar la convención de París de 1919 sobre las normas de la aviación civil para que esta pueda desarrollarse de manera segura y ordenada y que los servicios se establezcan en una base de igualdad de oportunidades económicas. El anexo 16 de este convenio es el que se refiere a la protección del medio ambiente, dividiéndolo en dos volúmenes, el primero trata de la protección ambiental contra los efectos del ruido y el segundo trata de las emisiones de los motores de las aeronaves, ambos asuntos eran poco estudiados en los inicios de convenio (OACI, anexos del 1 al 18).
- Cumbre de Río: Realizada en 1992, se estipulo un principio fundamental para abordar el cambio climático, que dice “Para alcanzar el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente debe ser parte del proceso de desarrollo y no puede ser considerado por separado”, lo que les indica a los estados miembros, el no separar el tema ambiental de las demás áreas en las que ellos de más hincapié para un desarrollo como nación. Por otro lado, en esta cumbre se aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, UNFCCC por sus siglas en

ingles), teniendo como objetivo principal estar a la vanguardia de los esfuerzos para salvar el planeta previniendo una interferencia dañina del humano en el sistema climático (Naciones Unidas, 2020).

Con el fin de tener un paquete de medidas para reducir los gases de efecto invernadero, en 1997 los países industrializados tomaron un compromiso en la ciudad de Kioto, este compromiso tuvo como principal meta el reducir en al menos en un 5% las emisiones contaminantes entre los años 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990, este paquete de medidas fue denominado el “protocolo de Kioto”, el cual entro en vigencia desde el año 2005.

Para la realización de un segundo periodo del Protocolo de Kioto que tendrá una duración desde el año 2013 hasta el 31 de diciembre del año 2020, en la COP18 se tomó la decisión de que realizar una enmienda, denominada “la enmienda de Doha”, con el fin de actualizar las medidas existentes, esto incluye:

- Nuevos compromisos para la parte del anexo 1 del protocolo de Kioto en este segundo período.
- Una lista revisada de GEI a ser informada por las partes en el segundo período de compromiso.
- Enmiendas a varios artículos del protocolo de Kioto que hacen referencia a cuestiones relacionadas con el primer período y que deben actualizarse para el segundo período.

Sin embargo, para que entre en vigencia esta nueva enmienda debe ser aceptada por tres cuartos de los miembros, es decir, se requiere una aceptación de 144 miembros, pero al día 18 de febrero de 2020 solo 137 partes han depositado la aceptación de la enmienda por lo que aún no ha entrado en vigencia (CMNUCC, 2020).

En diciembre del año 2015, en el marco de la COP21, se alcanzó un acuerdo denominado “acuerdo de Paris”, en donde se espera combatir el cambio climático e intensificar las medidas a futuro en cuanto a inversiones para bajar las emisiones de carbono a la atmosfera, el acuerdo se basa en que todos los países miembros tengan una causa común, dándole un mayor apoyo a los países en desarrollo para poder llevarlo a cabo. El acuerdo tiene como principal objetivo mantener la temperatura global menor a 2°C en relación al periodo

preindustrial, enfocando esfuerzos en que esta temperatura no supere los 1,5°C. El acuerdo de París entró en vigor en noviembre del 2016, y los 30 días ya contaba con una ratificación de 55 países los cuales representan un 55% de las emisiones mundiales, a la fecha, 189 parte han ratificado el acuerdo quedando fuera de esta ratificación 8 países miembros (CMNUCC,2020).

El principal ausente de este acuerdo es Estados Unidos, ya que el año 2017 oficializó el retiro del acuerdo de París, ya que limitaría la productividad en sectores automotriz y en la explotación del carbón, esto conlleva un atenuante a la lucha mundial contra el cambio climático, ya que Estados Unidos es el segundo país después de China con mayor emisión de fósiles de CO<sub>2</sub> y de gases de efecto invernadero, aportando 5275,46 [Mton] en el año 2018, lo que representa un 13,92% de las emisiones mundiales (Edgar, Emisión fósiles de CO<sub>2</sub> y GEI de todos los países del mundo, Informe 2019).

En la última conferencia de la Naciones Unidas sobre el cambio climático, COP25, no se logró un consenso real en cuanto a compromisos de las naciones participantes acerca de las emisiones de carbono, debido a que fueron escasos los países que presentaron planes concretos para reducir las emisiones, además se llevó a cabo un análisis de financiamiento para la adaptación al cambio climático de países en desarrollo que sufren de las consecuencias pese a que sus emisiones son bajas, por lo que se exigió a los países a llegar con medidas más concretas para la próxima conferencia COP26 (Noticias ONU, 2019).

Chile, ha participado activamente en materia de cambio climático debido a que es un país social, económica y ambientalmente vulnerable ante este aspecto, esta participación inicio en el año 1994 cuando se ratificó en la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, además de adoptar el protocolo Kioto entre los años 2008-2012, y está siendo participe de las discusiones y debates en el acuerdo de Paris con el fin de formular y ejecutar las acciones necesarias (ministerio del medio ambiente, 2020).

En cuanto a la industria aeronáutica y sus entes reguladores, IATA el instrumento encargado para la cooperación entre aerolíneas reconoce la necesidad de tomar medidas para combatir el cambio climático, por lo que entre sus filas cuenta con un programa voluntario de compensación de carbono para aerolíneas, el cual es un programa que le permite al pasajero compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su viaje, este programa se ofrece basado en el

cuarto pilar de la IAT, herramientas económicas, con el fin de darle una opción distinta a las aerolíneas de compensar su huella de carbono (Offset program, IATA 2020).

Por otro lado, en 2016 la organización de aviación civil internacional (OACI), adopto el esquema de compensación y reducción de emisiones para la aviación internacional (CORSIA), aprobado por 191 estados miembros en el marco de la conferencia de Montreal y su implementación de ha agregado como un anexo del Convenio de Chicago, cabe mencionar que el sector aeronáutico fue el primero en asumir la responsabilidad y el compromiso para limitar estas emisiones. CORSIA tiene como objetivo la reducción gradual de gases de efecto invernadero en vuelos internacionales hasta conseguir un crecimiento neutro.

Las aerolíneas deberán definir planes de monitoreo de emisiones, la cuales deberán ser aprobados por las autoridades reguladoras, la generación de informes inicio el 2019 y serán evaluados cada 3 años, tomando como año 0 el 2021, para comprobar en que posición se encuentra la aerolínea tomando en consideración las metas de compensación de carbono.

El acuerdo constará con etapas, la primera etapa considerará los reportes y objetivos de los estados voluntarios y esto durará hasta el 2026, posteriormente a partir del 2027 y hasta el 2035, la segunda etapa entrará en vigor de forma obligatoria (CORSIA, IATA, 2019).

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Huella de Carbono.

Las actividades que realiza el humano en su vida cotidiana generan un impacto en el medio ambiente y este se determina por la cantidad de gases de efecto invernadero que se produce, la huella de carbono es una forma de medir dicho impacto, ya que representa la marca que deja una persona sobre el planeta, mediante un recuento de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se liberan a la atmosfera (UACH, 2020).

Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual se produce por el uso de combustibles fósiles y por impacto del hombre en la silvicultura y usos de la tierra como la deforestación, el metano (CH<sub>4</sub>), el cual se produce por las actividades agrícolas, uso de energía y gestión de residuos, óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el cual se genera por los fertilizantes y el uso de combustible, y por último los gases fluorados (gases F), el cual lo producen los procesos industriales y la refrigeración. Si bien hay más gases de efecto invernadero estos son los que son producidos a mayor cantidad por la actividad humana, y en el caso del dióxido de carbono se le da un especial énfasis, ya que representa un 76% de los gases de efecto invernadero (Climate Change, IPCC, 2014)

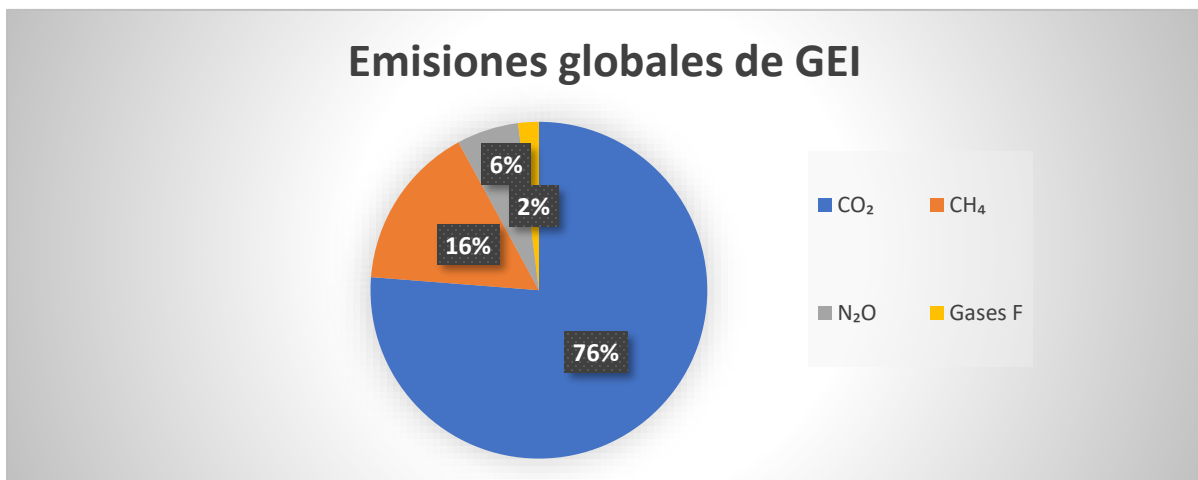


Figura 2: Distribución porcentual de las emisiones de GEI a nivel global. Elaboración propia.  
Fuente: Datos del IPCC, climate change.

La huella de carbono puede ser abordada por diversos enfoques:

- Enfoque corporativo: Se evalúa la huella de carbono dentro de un periodo de tiempo, usualmente un año calendario, las emisiones se agrupan en tres alcances:
  - 1- Emisiones directas: emisiones que provienen de fuentes de propiedad o controladas por empresas (consumo de combustibles fósiles en fuentes fijas, fugas no intencionadas de equipos de climatización).
  - 2- Emisiones indirectas por consumo y distribución de energía: asociados al consumo de electricidad y al vapor generado por terceros.
  - 3- Emisiones indirectas: emisión que no son controladas ni son propiedad de la empresa como transportes de funcionarios, viajes aéreos por trabajo, generación y transporte de residuos.
- Enfoque ciclo de vida: a través de la cadena de valor del bien o servicio, se evalúa la huella de carbono de este, incluso en ocasiones la evaluación continua terminada su vida útil.
- Enfoque territorial: Evaluación de emisiones de GEI de un área limitada por las coordenadas geográficas o políticas, útil para determinar el impacto en el cambio climático en regiones específicas.
- Enfoque por industrias: evalúa la emisión de GEI de un sector productivo en específico, determinando su contribución e impacto al cambio climático (MMA, 2020)

A nivel de industria, la que más genera gases de efecto invernadero a nivel global es la de la electricidad y generación de calor con un 25% de las emisiones globales, por otro lado, la industria del transporte, en la cual está inmersa la aviación genera 11% menos de emisión de estos gases, contribuyendo con un 14% de las emisiones a nivel global, tal como se muestra en el grafico siguiente (climate change, IPCC, 2014):



Figura 3: Emisiones de GEI por sector económico. Elaboración Propia. Fuente: Datos IPCC climate change.

### 2.2.2. Compensación de carbono.

El sistema de compensación de carbono u offset, es un mecanismo internacional que se enfoca en mitigar y/o reducir las emisiones de GEI en el planeta y beneficia a las empresas/industrias que no producen emisiones o en las que estas son muy bajas y hacen pagar a las industrias que exceden el nivel de emisiones, generando un desarrollo sostenible en países desarrollados e incluyendo socialmente a los países en desarrollo. Este sistema es un representa del mecanismo de desarrollo limpio (MDL) establecido en el protocolo Kioto siendo el principal estándar a nivel mundial (Precio al carbono Chile, 2017).

Entre los sistemas de compensaciones más comunes están las fuentes de energía renovables y la reforestación, los cuales son monitoreados constantemente para validar y verificar que estén realizando reducciones de emisiones, en los países o industrias que se sobrepase el límite de carbono establecido se compensara mediante los créditos de carbono, cual se mide en toneladas de dióxido de carbono (Precio al carbono Chile, 2017).

El sistema europeo de negociación de CO<sub>2</sub>, ofrece un lugar seguro en donde realizar las negociaciones en cuanto a la compra y venta de derechos de emisiones (EUA) y créditos de carbono (CER), el cual es un bono que certifica las emisiones reducidas, un CER equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir (sendeCO<sub>2</sub>, 2020).

Precio (€/Ton CO2)		
Periodo	EUA	CER
Media Anual 2017	5,83	0,23
Media Anual 2018	15,88	0,24
Media Anual 2019	24,84	0,22

Tabla 1: Precios promedios por periodo en euros de una tonelada de CO2, en compra y venta (EUA) y en créditos de carbono (CER). Elaboración propia. Fuente: SendeCO2, 2020.

### **2.2.3. La aviación y la protección ambiental.**

De las actividades realizadas por el humano, la industria aérea es un factor importante en la generación de emisiones de gases contaminantes, lo que provoca una aceleración al cambio climático, por su parte la OACI, el cual es la organización encargada de regular y velar por el cumplimiento de convenios y practicas recomendadas de la aviación civil, además de encargarse de que esta sea segura, eficiente, económicamente sostenible y amigable con el medio ambiente, mediante el trabajo constante con sus estados miembros, cada tres años revisa y actualiza las políticas y prácticas relacionadas con la protección del medio ambiente (OACI, 2020).

La principal manera que tiene la industria aeronáutica para reducir las emisiones de carbono a la atmosfera se basa en la eficiencia de uso del combustible, ya que el proceso de combustión es el principal causante de la generación de GEI. Esto se demuestra en que un 80% de las emisiones de GEI en el sector provienen de los vuelos que recorren una distancia mayor a 1500 kilómetros (cifras ATAG, 2020).

### **2.2.4. Protección del medio ambiente OACI.**

Uno de las aristas principales es el conseguir que la aviación civil genere menos emisiones hacia la atmosfera, en este contexto la OACI en la asamblea del año 2004 propuso 3 objetivos principales, los cuales han sido reafirmados hasta el ahora (OACI, 2020):

1. Limitar o reducir los afectados por los ruidos generados por las operaciones.
2. Limitar o reducir el impacto de la aviación en la calidad del aire local.

3. Limitar o reducir el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación en el clima global.

Las actividades del ámbito medio ambiental realizadas por la OACI cuentan con la ayuda del comité de protección ambiental de la aviación (CAEP por sus siglas en inglés), el cual que se encarga de los estudios específicos para alcanzar los objetivos propuestos en cuanto al ruido, calidad del aire y emisiones de GEI, evaluando el impacto que tendrán las decisiones tanto en el presente como en el futuro (OACI, 2020).

#### **2.2.5. CORSIA.**

Parte del conjunto de medidas que ha tomado la OACI para alcanzar las metas a las que aspira la aviación internacional como los son la mejora de un 2% anual en el rendimiento de combustible hasta 2050 y el crecimiento de carbono neutro a partir del 2020, se encuentra el sistema de medidas para compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> denominado CORSIA. Este conjunto de medidas se implantará en la aviación internacional a través de tres fases, (protección ambiental, OACI, 2018):

- Fase Piloto: Se llevará a cabo entre los años 2021-2023, es voluntaria.
- Primera Fase: Se llevará a cabo entre los años 2024-2026, es voluntaria.
- Segunda Fase: Se llevará a cabo entre los años 2027-2035, es obligatoria para todos los estados miembros de la OACI que tengan una participación en las actividades internacionales en el año 2018 que supere el 0,5% de la actividad total o si su participación acumulada alcanza un 90% de la actividad total. De igual forma estos estados pueden ofrecerse de forma voluntaria.

En los años previos a la fase piloto, es decir, 2019 y 2020, los estados miembros de las OACI deberán vigilar, notificar y verificar (MRV) las emisiones de CO<sub>2</sub> y así la OACI contará con la información adecuada para notificar y publicar en que posición se encuentra dicho estado en cuanto a las metas propuestas, posteriormente cuando el sistema entre en su fase piloto y hasta que el periodo termine en 2035, la OACI mediante estos reportes llevará a cabo el cálculo del factor de crecimiento del sector año a año. El factor de crecimiento es el incremento porcentual en las emisiones en un año dado en el futuro respecto a un año de

referencia, mediante este factor se busca calcular los requisitos de compensación de CO<sub>2</sub> (protección ambiental, OACI, 2018):

*requisitos de compensacion = emisiones anuales del explotador X factor de crecimiento*

Ecuación 1: ecuación utilizada para calcular la compensación de CO<sub>2</sub> que debe realizar un explotador basada en sus niveles de emisiones anuales y el factor decrecimiento calculado por la OACI (protección ambiental, OACI, 2018).

El sistema CORSIA estipula la obligación de los operadores de registrar su consumo de combustible para vuelos internacionales con el fin de mantener la información de sus emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante los métodos admisibles de vigilancia de consumo de combustible aprobados por los estados a los que son miembros, este método de vigilancia es lo que el operador deberá emplear por el periodo de tres años, que es lo que durarán los procesos de recopilación y el cual a través de sus resultados de vigilancia de consumo permitirá el estado notificar al operador los requisitos de compensación (protección ambiental, OACI, 2018).

Se establecen cinco métodos admisibles de vigilancia del consumo de combustible a los cuales los operadores pueden optar, siendo estos equivalentes y sin un orden jerárquico. Tras la elección del método el operador tendrá la posibilidad de determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de los vuelos internacionales, a través de la siguiente formula (DAN 16, DGAC, 2018):

$$CO_2 = \sum_f M_f * FCF_f \quad (2)$$

En donde:

- $CO_2$ : Emisiones de  $CO_2$  (Toneladas)
- $M_f$ : Masa de combustible f utilizado (Toneladas)
- $FCF_f$ : Factor de conversión de combustible del combustible f dado, equivalente a 3,16 (en kg CO<sub>2</sub>/kg de combustible) para combustible Jet-A / Jet A1 y 3,10 (en kg CO<sub>2</sub>/kg de combustible) para AVGAS o combustible Jet-B.

Ecuación 2: Ecuación utilizada para el cálculo de la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas, tomando como variables la masa de combustible y su respectivo factor de conversión.

Los estados participantes en el CORSIA deben realizar tanto el monitoreo, reporte y verificación (MVR) como los requisitos de compensación en sus vuelos internacionales, en cambio, los estados que no participan en el CORSIA tendrán sujetas sus rutas internacionales únicamente al monitoreo, reporte y verificación.

#### **2.2.6. IATA y el cambio climático.**

IATA reconoce la necesidad de abordar el desafío que enfrentan las industrias a nivel global en cuanto al cambio climático y la reducción de emisiones contaminantes y para llevar esto a cabo plantea tres metas específicas (IATA, 2020):

- Mejora del promedio en la eficiencia de combustible del 1,5% por año desde el 2009 al 2020.
- Limite a las emisiones netas de CO<sub>2</sub> de la aviación a partir del 2020 (crecimiento neutral en carbono, CNC).
- Reducción en las emisiones netas de CO<sub>2</sub> de la aviación del 50% para el 2050 en relación con los niveles de 2005.

#### **2.2.7. Cuatro pilares IATA**

IATA concientiza acerca de que la lucha contra el cambio climático es un trabajo en conjunto, más que de partes individuales por este motivo y para lograr alcanzar los objetivos propuestos, establece cuatro pilares estratégicos para la industria de la aviación (IATA, 2020):

- Tecnologías mejoradas, incluido el despliegue de combustibles sostenibles bajos en carbono.
- Operaciones de aeronaves más eficientes.
- Mejoras en la infraestructura, incluidos sistemas modernizados de tráfico aéreo.

- Única medida global basada en el mercado, para llenar la brecha de emisiones restantes.

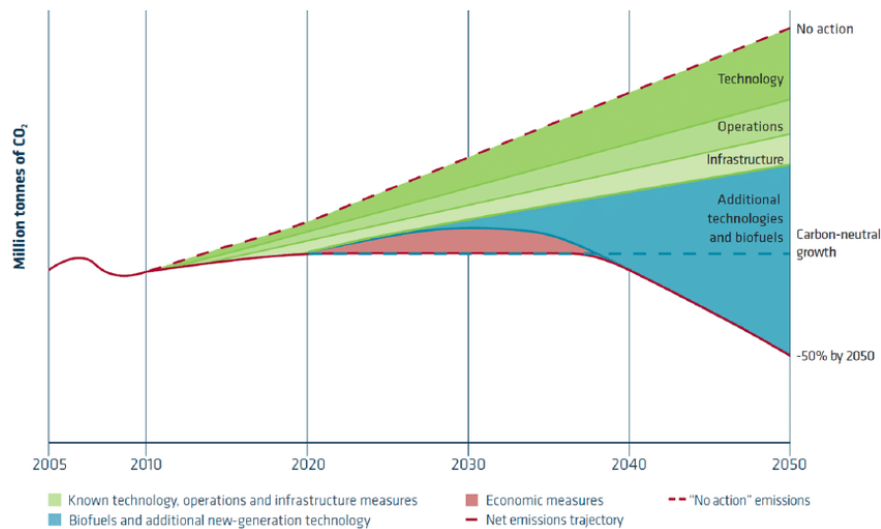


Figura 4: Variación de emisiones de CO2 en la industria aeronáutica. Fuente: IATA.

Los niveles de CO2 emitidos por la industria aeronáutica se dispararían afectando irremediabilmente en el caso de no realizar acciones contra esto, la estrategia de los cuatro pilares, generará nuevas tecnologías como el desarrollo de aviones y motores nuevos y más eficientes los cuales disminuirán las emisiones de CO2, los aviones de nueva tecnología son en promedio un 20% más eficientes en combustible que sus predecesores, por otro lado los combustibles sostenibles de aviación que se han utilizados contemplan una disminución de hasta un 80% de emisiones.

Las medidas operativas generan ahorros de peso en la flota actual, como la inversión en asientos más livianos y el remplazo de manuales pesados por tablets, lo que reduce el consumo de combustible de la aeronave en vuelo. Otras medidas operativas incluyen el rodaje con un solo motor, empuje de marcha atrás en vacío y procedimientos ATC, como descensos continuos a los aeropuertos y la gestión del flujo de tráfico.

El pilar infraestructura se enfoca en las mejoras de la navegación, consta de una mejor utilización del espacio aéreo y la racionalización de rutas tomadas por las aeronaves para reducir sus tiempos de vuelo, además de la optimización de aeropuertos para la mejora del rendimiento (IATA, 2019).

### **2.2.8. Combustible Sostenible para la Aviación.**

El combustible de aviación sostenible (SAF por sus siglas en inglés) ha sido identificado como el elemento clave para lograr con los objetivos de reducción de emisiones propuestos por la IATA, los SAF derivados de cultivos aceitosos y grasientos sostenibles como la camelina y las algas y la biomasa residual pueden reducir la huella de carbono en un 80% durante todo su ciclo de vida (IATA, 2019).

La IATA cumple un rol facilitador al respecto generando las instancias para que las partes interesadas interactúen mediante la realización de eventos y reuniones a nivel regional e internacional, entre los que destacan (IATA, 2019):

- Apoyar iniciativas SAF de los interesados.
- Trabajar con aeropuertos para educar y explorar el potencial de suministrar SAF, incluyendo los impedimentos logísticos.
- Incitar acuerdos entre proveedores de SAF y aerolíneas.
- Organización de congresos sobre combustibles alternativos.
- Cursos de capacitación para aerolíneas y otras partes interesadas en SAF.

Por otro lado, para que un SAF sea aprobado para el uso comercial debe someterse a un proceso de evaluación de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM) pasando por las siguientes fases (CAAFI, 2020):

- Fase 1: Evaluación inicial.  
Tras una solicitud enviada por el desarrollador de tecnologías, ASTM aprueba el estudio para verificar si el SAF cumple con las características para ser utilizado comercialmente. Los datos de la investigación se obtienen mediante las pruebas de nivel 1 (propiedades de especificación) y nivel 2 (propiedades de ajustes para fines). Estos resultados van a un informe de Fase 1 para que posteriormente la OEM lo revise, vea si es apto para su uso en aeronaves y motores y apruebe el combustible para que pase a la Fase 2.

- Fase 2: Pruebas de seguimiento.  
Se recopila nueva información mediante las pruebas definidas de nivel 3 (prueba de componentes y equipos) y nivel 4 (prueba de motor y APU). Los resultados obtenidos van a un informe de investigación Fase 2, el cual al igual que en la Fase 1 debe ser revisado y aprobado por la OEM.
- Fase 3: Votación y aprobación.  
La Administración Federal de Aviación de Estados Unidos (FAA) revisa las aprobaciones de la OEM, dando un espacio para comentarios y preocupaciones. Posteriormente habiendo abordado los comentarios se somete a votación, siendo considerada aprobada cuando es unánime, para finalmente tras la aprobación ASTM agrega un nuevo SAF a la norma D7566 como un nuevo anexo.

### **2.2.9. Factores para impulsar la aviación y economías en Latinoamérica.**

La IATA analizo la situación de Latinoamérica e incito al trabajo colaborativo en la región para el beneficio de la industria y potenciar el desarrollo económico, haciendo hincapié en cuatro áreas donde la colaboración es fundamental (impulso de la aviación y economías, IATA, 2016):

- Impuestos: El alto costo de los impuestos compromete la conectividad aérea y el desarrollo económico de la región, ya que en Latinoamérica y el caribe existen alrededor de 130 impuestos sobre los pasajes aéreos los cuales encaren y limita la capacidad de la aviación.
- Regulación inteligente: adoptar estos principios “Smarter regulation” para darle protección al pasajero y estar en sintonía con los estándares globales, siendo fáciles de implementar y con la capacidad de resolver los problemas de manera eficiente. La clave es el análisis riguroso del coste-beneficio. Los principios para diseñar estas políticas son:
  - Consistencia y coherencia: Las regulaciones deben ser coherentes con las reglas y practicas existentes, aplicables a actividades reguladas y con una constante supervisión.

- Proporcionalidad: Usar la reglamentación solo cuando se demuestre su necesidad y proporcional al problema identificado.
  - Dirigido al riesgo: Regulaciones con objetivos específicos y bien definidos y su vez dar la flexibilidad según sea el caso.
  - Justo y no distorsionador: aplicación de reglamentos de manera justa.
  - Claridad y certeza: Se debe tener conocimiento del cumplimiento de normativas y de las regulaciones que se aplicarán.
- Infraestructura rentable y eficiente: las infraestructuras deficientes son un gran problema en la región, por lo que es esencial el desarrollo de la infraestructura que respalden aeropuertos seguros, funcionales, con capacidad equilibrada y fáciles de usar, adecuándose a la creciente demanda de pasajeros, el cual se estima que se duplicará hacia el año 2034. IATA busca garantizar que brinden instalaciones flexibles que cumplan con los requisitos de las aerolíneas de una manera rentable.
  - Medio ambiente: IATA insiste y hace hincapié en abordar este tema en forma conjunta, y presionando a los estados y miembros de la aviación a apearse a la estrategia de los cuatro pilares para lograr los objetivos ambientales propuestos a nivel de industria.

#### **2.2.10. Situación en Latinoamérica**

En la región el ente encargado de representar la postura es La Asociación Latinoamericana y del Caribe de Transporte Aéreo (ALTA), la cual se encargar de velar por una industria segura, eficiente y preocupada por el medio ambiente, estableciendo planes estratégicos para reducir las emisiones de carbono e implementar nuevas prácticas, con este enfoque creo su propio comité medioambiental con el fin de un trabajo en conjunto con los entes de cada país para alcanzar las metas establecidas en la industria. El comité entrega acceso a expertos y a herramientas para alcanzar resultados más eficientes y con mayor ahorro para aerolíneas.

La cuota de mercado de la región en términos de pasajeros transportados fue de un 6,9% en 2018, teniendo un aumento del 5,7% respecto al año anterior, de esta forma se ubica en el cuarto lugar a nivel global en el mercado de transporte de pasajeros en una industria que está en constante ascenso.

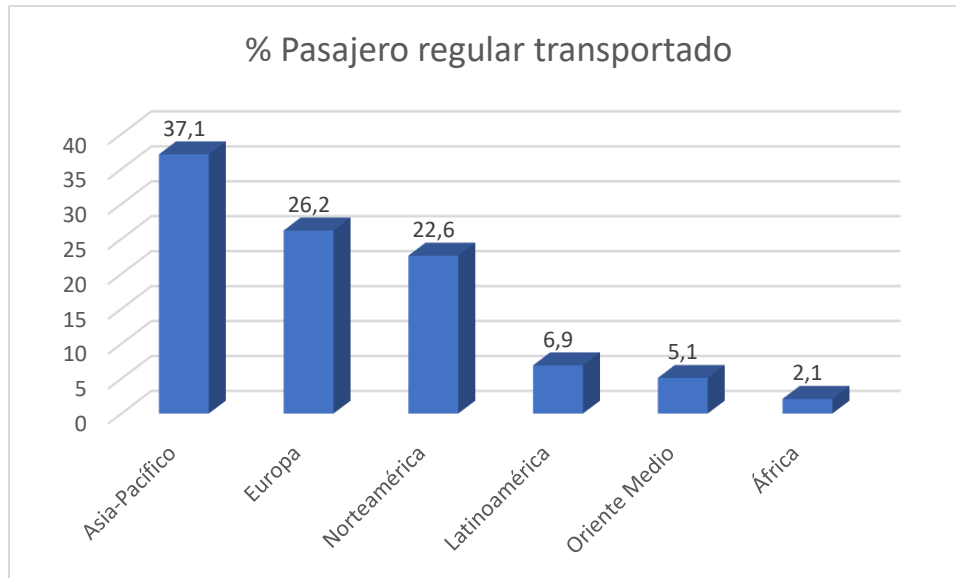


Figura 5: Porcentaje por regiones de pasajeros transportados en 2018. Elaboración propia. Fuente: IATA, Estadísticas de transporte 2018.

### 2.2.11. Programa compensación de carbono IATA.

El programa está destinado a que los individuos, en este caso pasajeros de las aerolíneas y clientes corporativos, compensen la porción de emisión de carbono asociadas al viaje aéreo que estos realizan, invirtiendo voluntariamente en proyectos que reducen la generación de emisiones para ayudar de esta manera a la reducción de los gases de efecto invernadero.

Actualmente alrededor de 30 aerolíneas miembros de la IATA, poseen un programa de compensación, ya sea integrado en su sistema de ventas por la web o en un proveedor de compensación externo, con el fin de que cualquier aerolínea lo pueda implementar, este cuenta con procesos altamente estandarizados.

Esta estandarización de procesos responde a que el volumen de dióxido de carbono librado en los vuelos es variable y se basa en una serie de factores como lo son la eficiencia y el mantenimiento de la aeronave, distancia recorrida, carga transportada (pasajeros y carga) y las condiciones climáticas.

El programa se basa en calcular la huella de carbono mediante un “calculador de carbono” que se basa en la metodología de cálculos de la OACI, el cual permite a las aerolíneas utilizar sus propios datos verificados sobre el consumo de combustible, el peso de los pasajeros y la carga, la configuración de los asientos y factores de carga, con el fin de

obtener un cálculo más preciso sobre las emisiones de CO2 por pasajeros para luego entregarle la información del monto voluntario que este puede realizar, el cual se destina a los diversos proyectos de reducción de emisiones a los que la aerolínea dirige dicha recaudación (IATA, 2020).

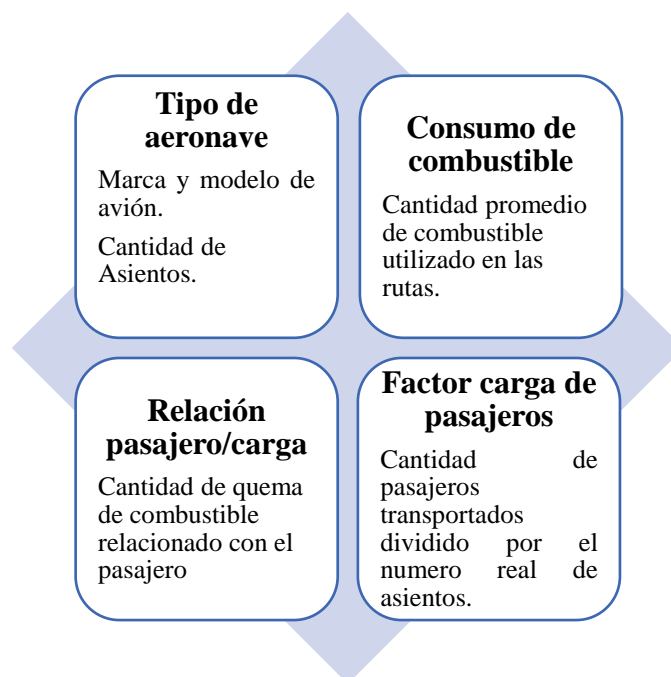


Figura 6: Factores claves para el cálculo de la compensación de carbono. Elaboración propia.  
Fuente: IATA Carbon Offset Program, 2016.

Considerando los factores antes mencionados el cálculo de las toneladas de dióxido de carbono asociados a cada pasajero responde a la siguiente ecuación (OACI 2018, Carbon Emissions Calculator Methodology):

$$\text{Ton CO}_2 = \frac{\text{Factor conversión CO}_2 * \text{combustible total} * \text{relacion Pax/Carga}}{\text{Cantidad de asientos} * \text{Factor de ocupación}}$$

Ecuación 3: Cálculo de las emisiones de CO2 asociadas a los pasajeros de un vuelo determinado.

En donde, el factor de conversión de CO2 tiene un valor de 3,17 kg de CO2 por cada Kg de combustible utilizado.

### **2.2.12. Sistema Gestión ambiental**

Un sistema de gestión ambiental (EMS) se encarga de gestionar los aspectos de los impactos ambientales, el desempeño ambiental y las obligaciones de cumplimiento de una organización mediante la utilización de un enfoque estructurado, sistemático y documentado.

La gestión ambiental de una aerolínea se lleva a cabo mediante el programa IATA de evaluación ambiental (IEnvA), el cual es un sistema de evaluación voluntaria que les permite adoptar procedimientos y prácticas recomendadas para desarrollar un sistema de gestión ambiental, esto es posible ya que las aerolíneas comparten desafíos y soluciones ambientales por lo que los procesos pueden ser estandarizados. La implementación de IEnvA considera que existen aerolíneas con menos capacidades y sin la experiencia en gestión ambiental por lo que se enfoca en un proceso adaptación, debido a esto el programa tiene dos etapas de implementación (IATA, 2020):

1. La primera etapa IEnvA permite a la aerolínea establecer el marco para su sistema de gestión ambiental para identificar y cumplir con los requisitos legales y otras obligaciones.
2. La segunda etapa es un sistema de gestión ambiental completo en línea con los estándares internacionales.

Para lograr la certificación de IEnvA etapa 1 el operador debe solicitar a IATA un documento que describa el acuerdo de las partes para realizar el intercambio de información y asegurar el presupuesto para la evaluación de la primera etapa de la aerolínea, posteriormente se establecerá una fecha para una inducción de parte de la IATA afrontando los compromisos que sean necesarios para avanzar hacia la mejora de procesos. Para finalmente establecer la fecha de evaluación y de esta manera presentar el sistema de gestión para obtener el IEnvA etapa 1, este proceso puede tardarse entre 12 a 24 meses en llevarse a cabo (Descripción del programa, IATA, 2019).

El programa IEnvA toma como base los programas de auditoría de seguridad operacional IATA (IOSA) y de auditorías de seguridad de operaciones terrestres IATA (ISAGO), por lo que la evaluación ambiental del programa se realiza en las operaciones de vuelo, actividades corporativas, operaciones en tierra y en servicios de mantenimiento. Además de contar con una regulación compatible y en cumplimiento con la normativa ISO14001:2015. Mediante

el programa se genera un proceso de mejoras continuas en las practicas recomendadas y en la orientación sobre los riesgos de sostenibilidad que aquejan a las aerolíneas, mediante la actualización constante de los estándares regulatorios y las nuevas prácticas ambientales (IATA, 2020).

Un plan de gestión ambiental (EMP) es un proceso que garantiza el cumplimiento y de mantener el en tiempo el nivel de desempeño ambiental, en el caso del plan de IEnvA, este cuenta con cuatro categorías distintas (Descripción del programa, IATA, 2019):

- **Visión:** Se encarga del desarrollo estratégico del programa y cubre las áreas de costos del programa, expectativas de crecimiento y la planificación de recursos para apoyar el crecimiento.
- **Conocimiento:** Esta categoría cubre las áreas de capacitación, mercadeo y promoción del programa, y su vez del reconocimiento del estándar IEnvA dentro de la industria aeronáutica.
- **Colaboración:** IEnvA se basa en la fuerte participación y colaboración de la industria para desarrollar y mejorar el desempeño ambiental de las aerolíneas, por lo que esta categoría se dirige a reuniones IEnvA, seminarios y distribución de información.
- **Revisión técnica:** Se ocupa de los aspectos técnicos de programa, en especial de la revisión y mejora de manuales, específicamente de manuales de estándares IEnvA, manual del programa IEnvA y de implementación IEnvA.

Los estándares IEnvA están contenidos en el manual y consta de ocho secciones: Liderazgo, Contexto y comprensión, Planes de gestión ambiental, Sistema y documentación, Compromiso, Acción, Revisión y Mejora. Los procesos de mejoras continua constan de cuatro pasos a seguir: actuar (A), planificar (P), hacer (D) y verificar (C).

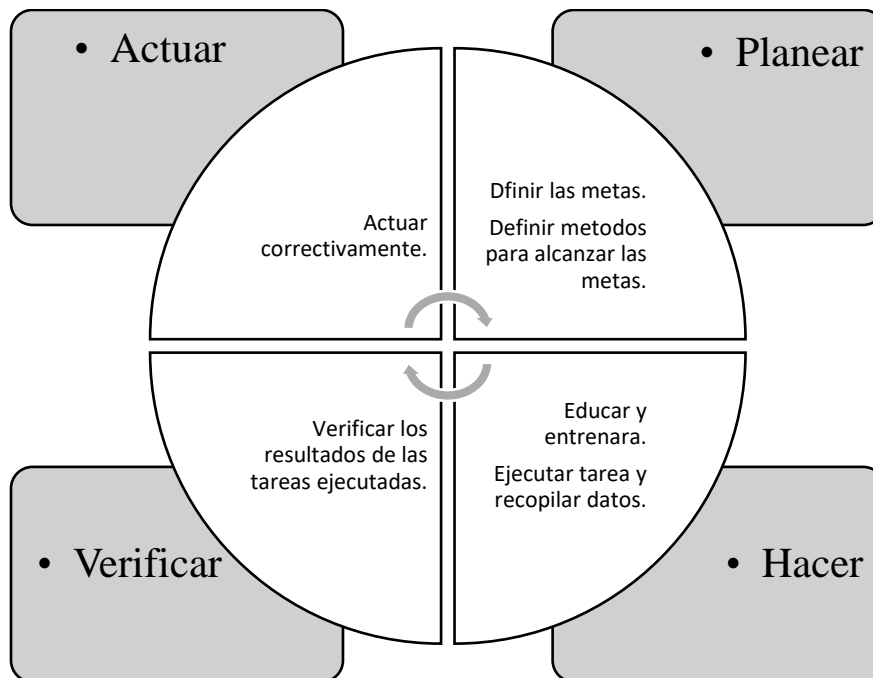


Figura 7: Ciclo de Deming mejora continua. Elaboración propia. Fuente: Gestión en calidad de servicio – UTFSM.

### 2.2.13. Conferencia de las partes

La COP es el ente que toma las decisiones de la convención, una de sus principales funciones es examinar las comunicaciones nacionales y los inventarios de emisiones presentados por las partes y a partir de esta información, se evalúan las medidas adoptadas por las partes y los progresos que se han conseguido (CMNUCC, 2020).

En la COP3, en Kioto, se creó el protocolo de Kioto, el cual establecía metas de reducción de GEI para los países industrializados, sin embargo, China y Estados Unidos los países que más emisiones generan no ratificaron el documento.

En la COP21 en París tras continuos procesos de evaluación se logra el “Acuerdo de París”, el cual fue adoptado por 197 países miembros y comenzará su aplicación desde el año 2020.

## **Acuerdo de París**

El acuerdo de París busca ser la mayor respuesta global en contra del cambio climático e incita a los países a enfocar sus políticas económicas, sociales y de desarrollo a favor de esta causa, comprometiendo a los países miembros a descarbonizar sus economías.

A diferencia del su antecesor, el acuerdo de París dirige los esfuerzos a una participación universal, permitiendo la participación de países desarrollados y en vías de desarrollo, mediante la progresión de medidas y la flexibilidad de que cada país tenga su propio punto de partida según sus capacidades, las principales metas del acuerdo son las siguientes (PNUMA, 2016):

1. Limitar el aumento de la temperatura media por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales, tratando de limitarlo a 1,5°C.
2. Mejorar la capacidad de adaptación global, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático.
3. Aumentar el flujo de recursos financieros para apoyar la transformación hacia sociedades y economías bajas en carbono.

Los países deben reportar regularmente sus emisiones y esfuerzos de implementación de medidas, y cada cinco años se realizará la evaluación de estas, esperando que se den a conocer nuevas metas de mitigación que sean aún mayores que las del periodo anterior.

En la COP25 realizada en Madrid el año 2019, no se logró llegar a un consenso con el artículo 6, referido a los mercados de carbono con integridad ambiental, además los países que presentaron planes para la reducción de emisiones fueron escasos y poco ambiciosos, por lo que se prolongó a la próxima convención el compromiso de las metas.

### **2.2.14. Situación en Chile.**

En el año 2010 se creó en Chile el ministerio del medio ambiente y ha sido desde entonces el ente encargado del diseño y aplicación de políticas, planes y programas ambientales, en la actualidad la ministra del medio ambiente es Carolina Schmidt.

El marco general de la legislación ambiental en Chile es la ley N°19.300 acerca de las bases generales del medio ambiente, esta fija la institucionalidad ambiental del país y le de

instrumentos de gestión ambiental como sistemas de evaluación del impacto ambiental, participación ciudadana y procedimientos para el dictamen de normas ambientales, los planes y normas dictados conforme a esta ley se basan en tres puntos principales (Ley Chile, 2020):

- Normas de calidad
- Normas de emisión
- Planes de prevención y descontaminación

En la actualidad Chile no cuenta con un marco jurídico que asigne responsabilidades de reducción de emisiones o que exija implementación y reporte de medidas de mitigación de emisiones, por lo que el ministerio de medio ambiente (MMA) está en un proceso participativo multisectorial en el cual pretende acoger las visiones y experiencias de los actores claves en la sociedad con el fin de elaborar un proyecto de ley marco de cambio climático cuyos elementos principales serán (Ministerio del medio ambiente, 2019):

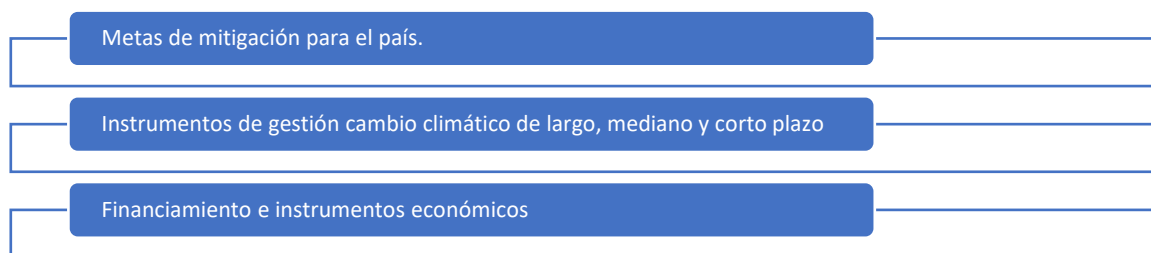


Figura 8: Principales elementos del proyecto de ley marco de cambio climático. Elaboración Propia.  
Fuente: MMA.

Actualmente no existe la presencia de una herramienta jurídica más fuerte para asegurar el cumplimiento de un meta que una ley marco, permite institucionalizar la visión del estado, estableciendo en este caso la meta de neutralidad de carbono. la ley marco establece facultades y obligaciones a los organismos del estado para la acción climática, tanto de forma vertical, es decir, nacional a municipal, como de forma horizontal, es decir, en los diferentes sectores. A su vez permite la flexibilidad y autonomía para las acciones específicas según sean las condiciones y necesidades cambiantes en el tiempo (economía, tecnología, aprendizaje, etc.) (Ministerio del medio ambiente, 2019).

Por otro lado, existen requisitos que no pertenecen al marco regulatorio aplicable a un proyecto, es decir, no tienen carácter legal. Dichos requisitos constituyen compromisos voluntarios o de responsabilidad social, los cuales derivan en políticas ambientales y buenas prácticas, las cuales de originan en manuales, ministerios respectivos, otras instituciones pertenecientes al estado u organizaciones internacionales, tal como es la industria de la aviación que se rige de las medidas y reglamentaciones internacionales.

En Chile la organización encargada de velar por la eficiencia, seguridad y sustentabilidad de la industria es la DGAC, y mediante las normas aeronáuticas (DAN) emite las atribuciones que le otorga la ley para regular aquellas materias de orden técnico u operacional que resguardan la seguridad aérea (DGAC, reglamentación aeronáutica, 2020).

La norma aeronáutica, DAN 16, la cual trata acerca de los esquemas de compensación y reducción de las emisiones para la aviación civil, específica para que casos será aplicables los requisitos de monitoreo, notificación y verificación (MRV) de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de los explotadores aéreos, la admisibilidad de los sistemas de vigilancia y como proceder en caso de que un explotador quisiese cambiar este sistema, como operará el sistema CORSIA tanto en su primer periodo (2021-2027) como en el segundo (2027-2035) y a su vez especifica toda la información que deben tener los informes de emisiones realizados por los operadores para que estos sean válidos y útiles.

#### **2.2.15. Pronóstico de demanda**

Esta herramienta se utiliza para la planeación corporativa en el largo plazo, los pronósticos suelen ser de mucha importancia para las organizaciones de negocio y tienen un rol fundamental para el análisis de la prefactibilidad de un proyecto.

En el momento que la demanda se vuelve intermitente, debido al bajo volumen de la prestación del servicio y al alto grado de incertidumbre que lo rodea, se dice que la serie de tiempo es irregular, por lo que este tipo de patrones de demanda de vuelve particularmente difícil de pronosticar. Teniendo esto en cuenta que, para poder realizar este tipo de proyecciones, en la cuales no existe información histórica para desarrollar un modelo estadístico o cuando no se tiene la experiencia previa para fundamentar un modelo estadístico,

es fundamental para el proceso obtener un consenso dentro de un grupo de expertos en el tema (Evaluación de proyectos generales, UTFSM).

Por este motivo, en cuanto las proyecciones actuales del transporte aéreo internacional se debe tener principalmente presente los comunicados que estén realizando las entidades correspondientes como, por ejemplo, la IATA, ALTA y los CEO de las diferentes aerolíneas.

Por otro lado, para proyecciones del mercado en base a antecedentes históricos, en el cual se busca la causa del comportamiento de las variables a proyectar relacionándolas con variables explicativas, en el caso del transporte aéreo las variables que se toman en cuenta es la apertura de nuevos mercados y tecnologías, además del crecimiento poblacional (JAC, 2020)

### Análisis de regresión

En este análisis, las causales explicativas se definen como variables independientes y la cantidad de demanda se define como la variable dependiente. De la observación de estas variables se deriva un diagrama de dispersión que indica la relación entre ambas (evaluación de proyectos generales, UTFSM).

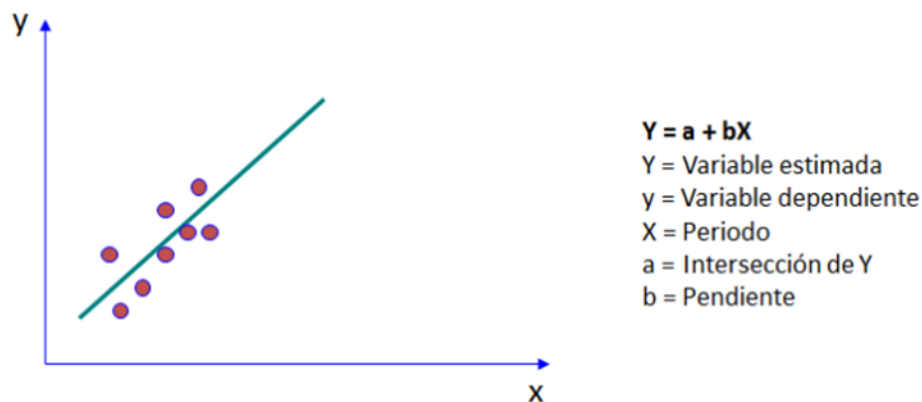


Figura 9: Diagrama de dispersión que indica relación entre dos variables. Fuente: Evaluación de proyectos generales, UTFSM.

Siendo un modelo estadístico, es posible determinar su grado de precisión y confiabilidad, para esto es utilizado el coeficiente de determinación  $R^2$ , mientras más alto más confianza se tendrá en el estimado.

### 3. DESARROLLO

---

#### 3.1. RESULTADOS COP25.

Previamente a la realización de la COP25 el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), publicó un informe acerca de la brecha de emisiones, en donde muestra que el objetivo principal (que el calentamiento global no supere los 1.5°C) propuesto en el Acuerdo de París esta fuera de alcance y que incluso cumpliéndose las promesas climáticas existentes, las llamadas Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), las emisiones en 2030 serán un 38% más altas de los que se necesita para cumplir el objetivo.

Desde el inicio de la COP, Chile dejó en claro que esta se trataba de la COP de la ambición lo que refleja de cierta manera la distancia entre las promesas (NDC) y las necesidades para cumplir con los objetivos propuestos. Las NDC deben tener un carácter progresivo y representar un real compromiso de cada país y en conjunto con los inventarios de progreso deben ser diseñados para que las ambiciones aumenten en el tiempo, a continuación, se presenta una línea de tiempo de cómo deben proceder los países según lo acordado en París el año 2015:

- 2015
  - Planes climáticos presentados
  - Los países presentan su primera ronda de promesas climáticas (NDC), algunos cubren compromisos hasta el 2025 y otros hasta el 2030.
- 2018
  - Diálogo facilitador: Se Realiza un balance de los esfuerzos colectivos de los países en relación con el objetivo a largo plazo del acuerdo e informar la preparación de la próxima ronda de promesas.
- 2020
  - Los países con objetivos para 2025 comunican su segunda ronda de compromisos climáticos, mientras que los países con objetivos para 2030 comunican o actualizan su compromiso.
  - Las nuevas promesas climáticas se presentarán cada cinco años.

- 2023
  - Inventario global sobre mitigación, adaptación y finanzas
- 2025
  - Los países presentan su tercera ronda de promesas climáticas.
- 2028
  - Segundo inventario global.

Actualmente, según el rastreador de NDC del instituto de Recursos Mundiales los números son los siguientes:

- 33 países manifestaron su intención de actualizar su NDC para 2020 (incluida la Unión Europea), que representa el 8.3% de las emisiones globales
- 104 países han manifestado su intención de mejorar la ambición o la acción en un NDC para 2020, lo que representa el 15,1% de las emisiones mundiales
- 11 países han presentado un NDC 2020, que representa el 2.9% de las emisiones globales

Por lo que como principales resultados la COP 25, dejó un acuerdo en cuanto a los compromisos para la próxima conferencia, para que los países presenten NDC más ambiciosos con el fin de acortar la brecha existente con el objetivo principal. Otro punto que destaca es el rol de la ciencia, reconociendo que cualquier política climática debe ser actualizada en base a los avances científicos.

No obstante, la conferencia de las partes no pudo alcanzar un acuerdo final acerca del Artículo 6 y el mercado de carbono, el aspecto fundamental para que se desarrolle como fue previsto el acuerdo de París, por lo que lo relacionado con este punto quedo pendiente para tratarlo en la próxima conferencia.

#### **Declaración de la OACI a la CMNUCC.**

La Organización de Aviación Civil Internacional velando por el desarrollo y el crecimiento de la industria mantiene cercana relación con las organizaciones de formulación política de las Naciones Unidas que han expresado interés en la aviación civil, en especial con la Conferencia de las Partes (COP) en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), a la que le hizo llegar un informe de los resultados obtenidos

luego de realizar la asamblea OACI en Octubre del año 2019, en el cual destacan los siguientes puntos:

- El lado operativo, tanto en tierra como en el aire ha dado muchos pasos para la reducción de emisiones de GEI, destacando aeropuertos que cuentan con fuentes de energía renovable para llevar a cabo sus operaciones y sistemas de optimización de rutas que pueden obtener hasta un 10% de ahorro de combustibles.
- Utilización de una combinación de combustible sostenibles (aceite de cocina, desechos y otras fuentes de biomas) en más de 200.000 vuelos comerciales.
- La aviación internacional es el primer sector con el objetivo de lograr un crecimiento neutral de carbono desde 2020. Mediante la introducción de nuevas tecnologías innovadoras está en camino para lograr este objetivo.
- La implementación de CORSIA, la que es la primera medida global basada en el mercado para un sector. Medida que provoco que a partir de enero del año 2019 todas las aeronaves que operan vuelos internacionales sean monitoreadas por sus emisiones de CO<sub>2</sub>, resultados que serán verificados e informados al registro central de CORSIA en 2020.
- Se reafirma la resolución que pone a CORSIA como la única medida global para aplicar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación internacional, para evitar que se impongan medidas regionales que generen una doble imposición.

La OACI finaliza su informe de la asamblea expresando la preocupación, a través del proceso de la CMNUCC, sobre el uso de la aviación internacional como fuente potencial para generar ingresos con el fin de financiar a otros sectores en el ámbito climático.

### **Rol de la IATA**

La industria aeronáutica permite un desarrollo del comercio, economía y la generación de empleos, por este motivo los impuestos excesivos o injustificados al transporte aéreo internacional generan un impacto negativo tanto en el crecimiento económico como social, por lo que la IATA en conjunto a sus socios de la industria velan por que las aerolíneas estén sujetas a medidas impositivas justas y eficientes.

La IATA tiene una participación activa para que las entidades gubernamentales del mundo se adhieran a las resoluciones tomadas por la OACI y a la ODCE (Organización para la cooperación y el desarrollo económico), esta participación tiene los siguientes fines:

- Asegurar que las medidas tributarias nuevas y existentes se apliquen de manera justa.
- Cabildeo contra medidas que resulten en doble imposición.
- Abogar contra las medidas fiscales que se dirigen injustamente a la industria, donde los ingresos fiscales resultantes no se reinvierten en servicios e infraestructura relacionados con el transporte aéreo.

### **3.2. SITUACIÓN EN AMÉRICA LATINA**

#### **Reducción de Costes en la Región.**

América Latina necesita una nueva estrategia para reducción de costes, ya que la región se caracteriza por los altos costos operativos impulsados por impuestos y tasas aplicadas por proveedores y gobiernos.

En este ámbito Brasil posee uno de los precios más altos en cuanto al combustible, el cual representa el mayor costo de operación para una aerolínea por lo que mientras mayor sea este precio menor serán las posibilidades y facilidades para las líneas aéreas. Por otro lado, se encuentran las medidas discriminatorias por parte de los gobiernos aplicando impuestos a la aviación los cuales elevan los precios de los viajes aéreos y no hacen más que distorsionar y desincentivan el turismo.

#### **Tasas de embarque América Latina.**

Las tarifas que son comercializadas por las aerolíneas están constituidas por el monto publicado más una serie de sobrecargos, como es en el caso del combustible cuando este aplica, las tasas de seguridad cuando esta es cobrada por separado como ocurre en el caso de Ecuador, Argentina y Uruguay y otros tipos de impuestos. A su vez algunos países aplican IVA sobre las tarifas (Chile y Brasil no los hacen).

Sumado a lo anterior, está la tasa de embarque o tasa aeroportuaria que representa el monto que cobra el operador del aeropuerto por el uso de su infraestructura y servicios, en la siguiente tabla se muestran los costos de estas tasas de embarque internacional de los aeropuertos/Ciudades de los distintos países de América Latina:

Tasa Embarque Aeropuertos Internacionales en América Latina				
Aeropuerto Internacional	Ciudad	País	Tasa Embarque	
Aeropuerto de Carrasco	Montevideo	Uruguay	USD	46
Aeropuerto Jorge Chávez	Lima	Perú	USD	30
Aeropuerto el Dorado	Bogotá	Colombia	USD	40
Aeropuerto El Alto	La Paz	Bolivia	USD	25
Aeropuerto Silvio Pettirossi	Asunción	Paraguay	USD	42
Aeropuerto Sao Paulo-Guarulhos	Sao Paulo	Brasil	USD	23
Aeropuerto Mariscal Sucre	Quito	Ecuador	USD	54
Aeropuerto de la Ciudad de México	Ciudad de México	México	USD	46
Aeropuerto Ezeiza	Buenos Aires	Argentina	USD	29
Aeropuerto Arturo Merino Benítez	Santiago	Chile	USD	26

Tabla 2: Precio de las tasas de embarque de los aeropuertos ubicados en ciudades de Latinoamérica. Elaboración Propia. Fuente: Sitios Web de los aeropuertos respectivos.

En la tabla se puede apreciar que el aeropuerto de Quito cuenta con la tasa de embarque internacional más alta, cobrando más del doble en este ámbito que el aeropuerto de Sao Paulo, Brasil, que cuenta con la tasa más baja entre los aeropuertos recopilados, el aeropuerto de Santiago de Chile por su parte es el tercer menos costo con un valor de 26 USD. Tomando en cuenta estos diez precios de tasas de embarque de distintos aeropuertos de América Latina se obtiene un promedio de 36 USD de las tasas de embarque de la región. Cabe mencionar que estos valores son solo una referencia, ya que el valor puede variar dependiendo de los distintos aeropuertos.

### **Comparación Tasa de Embarque en Europa.**

Por contraparte, las tasas de embarque en Europa, más específicamente en los miembros de la Unión Europea distan considerablemente con los valores de América latina, segmentando

sus tasas de embarque según el destino del pasajero, es decir, que no lo generalizan en la categoría internacional.

En la gran parte de los aeropuertos europeos hacen tasas de embarque diferenciadoras entre pasajeros domésticos, pasajeros que vuelan dentro de la Unión Europea, Pasajeros que vuelan en Espacio Schengen (Países que abolieron los controles inmigratorios en sus fronteras comunes), Pasajeros que vuelan fuera de la Unión Europea y vuelos intercontinentales. Para realizar una comparación entre las regiones la tabla de a continuación presenta las tasas de embarque de aeropuertos europeos dentro de la misma Unión Europea:

Tasa Embarque de Aeropuertos Internacionales de la Unión Europea				
Aeropuerto Internacional	Ciudad	País	Tasa Embarque	
Aeropuerto Madrid Barajas Adolfo Suarez	Madrid	España	USD	17
Aeropuerto París-Charles de Gaulle	Paris	Francia	USD	15
Aeropuerto de Lisboa	Lisboa	Portugal	USD	23
Aeropuerto de Roma-Fiumicino	Roma	Italia	USD	20
Aeropuerto de Fráncfort del Meno	Frankfurt	Alemania	USD	21
Aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol	Ámsterdam	Países Bajos	USD	17
aeropuerto de Copenhague-Kastrup	Copenhague	Dinamarca	USD	14
Aeropuerto de Estocolmo-Arlanda	Estocolmo	Suecia	USD	10
Aeropuerto de Bruselas-Zaventem	Bruselas	Bélgica	USD	25

Tabla 3: Precio de las tasas de embarque de los aeropuertos ubicados en ciudades de Europa (UE).  
Elaboración Propia. Fuente: Sitios Web de los aeropuertos respectivos.

Como se aprecia en la tabla los precios de las tasas de embarque de estos aeropuertos son bastante inferiores a los que se cobran en América latina, siendo el valor más costoso el del aeropuerto de Bruselas, Bélgica, dicho valor solo tiene una diferencia de dos dólares con la tasa de embarque más baja de los aeropuertos de América latina (Sao Paulo, Brasil). Tomando en cuenta los valores recopiladas de obtiene un promedio de 18,2 USD, siendo prácticamente la mitad del promedio resultante en los aeropuertos de América latina.

Por otro lado, las tasas de embarque fuera de la Unión Europea varían entre 23,46 USD (aeropuerto de Lisboa, Portugal) y 34,02 USD (Aeropuerto de París, Francia), precios que se acercan más a los cobrados en América latina, no obstante, siguen siendo inferiores.

### **3.3. MEDIDAS IMPOSITIVAS INEFICIENTES.**

Los resultados de la implementación de impuestos suelen ser un obstáculo para el crecimiento y desarrollo de la industria aeronáutica, ya que los ingresos generados mediante la implementación de un impuesto son ingresos generales para un gobierno y estos pueden ser destinados al financiamiento de distintos programas del sector público. Por otro lado, la demanda de viajes aéreos es sensible a las alzas de precios y un impuesto costoso tendría un efecto negativo en la demanda, lo que sería un impedimento para el crecimiento económico.

La recaudación de estos impuestos no posee un vínculo directo con medidas destinadas al desarrollo de la industria:

**Impuesto al valor agregado:** Las aerolíneas internacionales deben cumplir con las obligaciones legales y comerciales que rigen dentro de un país, esto incluye cualquier requisito de IVA. No obstante, se ha reconocido globalmente que el transporte aéreo internacional es distinto a otras empresas debido a que este opera en una multiplicidad de jurisdicciones en el espacio aéreo internacional, el transporte aéreo difiere materialmente de otros negocios y debido a que las aerolíneas internacionales por lo general se les prohíbe que realicen transporte doméstico dentro de países que no sean el suyo.

Debido a esto la IATA respalda las resoluciones de la OACI sobre tributación de la venta o uso del transporte aéreo internacional, solicitando a los estados implementar dicha resolución garantizando que el transporte aéreo internacional este completamente exento de IVA y que las empresas tengan el derecho de reclamar todo el IVA.

**Impuesto de turismo:** Estos impuestos van en contra de los principios de la OACI, donde se expone que las tarifas cobradas en el transporte aéreo deben asociarse con los servicios prestados en apoyo de la aviación, y en este caso se pretende aumentar únicamente los ingresos del gobierno general. Este tipo de decisiones que generan un aumento en los costos para el consumidor imponen una barrera para el desarrollo de la industria aeronáutica y del

turismo, siendo en la mayoría de los casos contraproducentes para la economía, ya que puede resultar en un desvío de turistas y pasajeros a jurisdicciones vecinas que no imponen este tipo de impuestos.

**Impuesto Solidario:** Este impuesto fue una iniciativa del Gobierno Francés en el año 2006 con el fin de destinar las recaudaciones a los países en desarrollo, sin embargo, el consejo de ministros de economía y finanzas de la unión europea rechazó la idea de implementar este impuesto en toda la unión europea. La IATA es categórica respecto al tema, exponiendo que las aerolíneas y los pasajeros no deben pagar por la financiación estatal de los programas sociales, ya que de esta manera tendrá menos recursos para invertir en crecimiento y permanecer estables económicamente.

**Impuestos Ambientales:** Estos impuestos van en contra de la resolución de la OACI sobre este tema, la que establece que los gravámenes ambientales no deben tener un objetivo fiscal, sino que deben estar relacionados con los costos para mitigar los impactos ambientales. Por otro lado, la IATA se opone a que los estados realicen esquemas ambientales propios que puedan generar una doble imposición, teniendo en cuenta que el esquema global de compensaciones y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA) elimina la necesidad de aplicar medidas económicas de forma particular.

A su vez las políticas de la OACI acerca de cargos por servicios aeroportuarios y de navegación aérea relacionados con la calidad del aire local o con la contaminación acústica deben aplicarse solo en aeropuertos que presenten problemas con estos factores, y deben implementarse en forma de cargo en lugar de un impuesto.

### **El impacto de un impuesto**

Según la IATA como resultado de la imposición de un impuesto una amplia sección transversal de la economía se ve afectada, debido a su efecto distorsionador y que a su vez no incentiva el crecimiento, desarrollo o el uso de nuevas tecnologías en la aviación. Los principales afectados ante un impuesto incluyen:

- **Pasajeros:** Son altamente sensibles ante los aumentos de precios, debido a esto pueden optar por no viajar u optar por otros medios de transporte o incluso pueden cambiar de destino hacia un destino en donde dicho impuesto no existe.

- **Aerolíneas:** Se ven afectadas en la disminución de pasajeros lo que repercute en sus ingresos, además de no poder recuperar dicho impuesto de los pasajeros, lo que genera una disminución en su inversión de nuevas tecnologías.
- **El sector turístico:** Tiene una directa relación con los dos tópicos anteriores, al haber una disminución en la venta de pasajes aéreos hay una disminución en la demanda de bienes y servicios, lo que impacta en el PIB.
- **Gobiernos:** La elasticidad de los precios de viajes aéreos apunta a que el aumento proporcional en ingresos fiscales originados por impuestos puede ser compensado por la disminución proporcional de la cantidad de viajes aéreos y la reducción de ingresos por el gasto de los viajeros perdidos, así como las tarifas no cobradas, cargos e impuestos.

### 3.4. MEDIDAS PARA LA DISMINUCIÓN DE EMISIONES.

La principal preocupación en la industria aeronáutica se enfoca en la reducción del consumo de combustible, esto se debe a que el combustible representa su principal costo económico y a su vez la quema de este produce las principales emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Por lo que al reducir el consumo de combustible las aerolíneas optimizarán sus costes y reducirán el impacto que tienen sus operaciones en el medio ambiente.

Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) la base para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> es que una tonelada de combustible de aviación quemado equivale a 3.15 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos al medio ambiente.

Estabilizar las emisiones es un compromiso que debe enfrentarse de manera global por lo que la IATA establece tres objetivos para combatir el cambio climático y reducir las emisiones que produce la industria:

- Mejora promedio en la eficiencia de combustible de 1,5% por año de 2009 a 2020.
- Limite a las emisiones netas de CO<sub>2</sub> de la aviación a partir de 2020, lo que se conoce como crecimiento neutral de carbono.
- Reducción en emisiones netas de CO<sub>2</sub> de la aviación del 50% para el 2050.

Esta reducción de emisiones por etapas está sostenida mediante la estrategia de los cuatro pilares de la IATA para abordar el cambio climático:

- **Tecnologías:** Desarrollo de nuevas aeronaves, motores y combustibles.
- **Operativas:** Maximización de eficiencia en los procesos y reducción de peso en los vuelos para optimizar el consumo de combustible.
- **Infraestructura:** Nuevas alternativas de rutas aéreas y procedimientos aeroportuarios más eficientes.
- **Herramientas económicas:** Mayores incentivos, comunicaciones y sistemas de compensaciones.

Teniendo en cuenta que los tres objetivos que propone la IATA para la industria aeronáutica están dirigidos a la reducción del consumo de combustible y a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las operaciones, alrededor del mundo las aerolíneas están en constante desarrollo y evolución en cuanto a medidas utilizadas para lograr alcanzar dichos objetivos tomando como base los pilares estratégicos propuestos por la IATA: Tecnología, Operaciones, Estructuras y Herramientas Económicas en la industria se están tomando las siguientes medidas:

### **Combustibles Alternativos (SAF).**

La utilización de combustible de aviación sostenible en vuelos comerciales es una realidad en la industria, sin embargo, los volúmenes actuales producidos son muy bajos, representando menos del 1% de la demanda total de combustible para aviones. Debido a este problema de escala y procesos aun por optimizar la producción de SAF son sustancialmente más costosas que el combustible fósil, lo que desalienta a las aerolíneas a utilizarlo, no obstante, en el mediano plazo SAF será la clave para mitigar el crecimiento de emisiones en la industria.

Para alcanzar el logro de los objetivos climáticos mediante el uso de SAF se requiere una inversión significativa, y a su vez se debe aumentar el despliegue del combustible sostenible a escala comercial para que de esta forma los precios sean más asequibles y así su utilización pueda ser rentable para las aerolíneas, para lograrlo la IATA está en constante interacción con todas las partes involucradas, cumpliendo el rol de facilitador.

Para el combustible convencional de aviación la especificación más utilizada es ASTM D1655 (Especificación estándar), ASTM D1655 sirve como guía, permitiendo que los combustibles alternativos demuestren su equivalencia con el combustible para aviones convencional.

El nuevo SAF aprobado debe ser apto para el uso de todos los aviones comerciales existentes y deben poder usar la misma infraestructura de suministro que el combustible convencional, es decir, no debe requerir adaptación de aviones o motores. Por otro lado, debe determinarse si es equivalente puro o como una mezcla al combustible de avión convencional. Actualmente son siete los combustibles aprobados e incluidos en la norma D7566 como anexo:

Anexo	Proceso de conversión	Posibles Materias Primas	Coefficiente de mezcla en volumen
1	Queroseno parafínico sintético Fischer-Tropsch	Carbón, Gas natural, Biomasa.	50%
2	Queroseno parafínico sintético de ésteres y ácidos grasos hidro procesados	Bioaceites, Grasa animal, Aceites reciclados.	50%
3	Isoparafinas sintéticas de azúcar fermentada hidroprocesada	Biomasa utilizada para la producción de azúcar.	10%
4	Queroseno parafínico sintético con aromáticos obtenidos mediante la alquilación de aromáticos ligeros de fuentes distintas al petróleo	Carbón, Gas natural, Biomasa.	50%
5	Queroseno parafínico sintético a base de alcohol para reactores	Biomasa utilizada para la producción de almidón y azúcar, Biomasa celulósica para producción de isobutanol.	30%
6	Queroseno producido por Hidrotermólisis Catalítica	Lípidos provenientes de grasas y aceites animales y vegetales.	50%

7	Hidrocarburos-Ésteres y Ácidos Grasos Hidroprocesados	Hidrocarburos bioderivados, Esteres de ácidos grasos y ácidos grasos libres.	10%
---	--	--	-----

Tabla 4: SAF aprobados para su uso comercial. Elaboración Propia. Fuente: OACI.

El carbón y el gas natural son materias primas no son renovables, por lo tanto, según la resolución de la IATA sobre el despliegue de SAF a cerca de utilizar únicamente combustibles que conserven el equilibrio ecológico y así evitar el agotamiento de recursos naturales, estos no son adecuados para la producción de SAF, pero posiblemente puedan ser utilizadas para la producción de AAF para aplicaciones militares.

Por otro lado, Como resultado de la asamblea de la OACI se solicitó el desarrollo de una metodología para garantizar que los requisitos de compensación de las aerolíneas sujetas a CORSIA se puedan reducir mediante el uso de SAF, con el fin de incentivar el uso del combustible alternativo para la aviación.

**Renovación de flota:** Una de las principales inversiones que realizan las aerolíneas es en la adquisición de aviones jóvenes y con eficiencia en el consumo de combustible, al retirar los modelos antiguos e ineficientes de las operaciones permite la reducción en la quema de combustible, lo que se relaciona directamente con una reducción en las emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera. A su vez los nuevos modelos son más silenciosos por lo que el impacto del ruido producido por las operaciones se reduce. Los aviones de nueva generación son entre un 20-25% más eficientes en combustible que sus antecesores, los modelos más adquiridos por aerolíneas actualmente:

**Flota de fuselaje angosto más eficientes en la actualidad:**

**A220:** Este es el avión más pequeño de la línea de productos de Airbus, el uso extensivo de aluminio avanzado en el fuselaje, en conjunto con compuestos avanzados en alas, empenaje y fuselaje trasero, reducen el peso y aumentan la resistencia a la corrosión. Son impulsados por motores Pratt & Whitney PW1500G, el cual está destinado exclusivamente a este avión. A su vez ofrece una reducción de 20% en las emisiones de CO2 por asiento. Air Canada y Etihad operan este modelo.

**A320Neo y A321Neo:** Cuentan con dos opciones de motor, el turboventilador con engranaje PW1100-JM de Pratt & Whitney y el LEAP-1<sup>a</sup> de CFM International, además de incorporar dispositivos de punta de ala Sharklet, lo que lo hace un 15-20% más eficiente en consumo de combustible que sus antecesores.

**B737Max:** Esta versión de 737 esta propulsada por los motores de CFM International LEAP-1B, el cual genera que tenga un consumo de combustible 13% en comparación con sus otras versiones del 737. Por otro lado, el diseño de las puntas de ala genera una menor resistencia aerodinámica, lo que se traduce en eficiencia de combustible.

**Flota de fuselaje Ancho más eficiente en la actualidad:**

**A350:** Su fuselaje y alas esta constituidos por plástico reforzado con fibras de carbono, además utiliza motores Rolls Royce Trent XWB de bajo consumos de combustible, esta tecnología hace que la aeronave ofrezca altos niveles de eficiencia contado con una reducción de un 25% en consumo de combustible por lo que genera menores emisiones que los modelos anteriores. Malaysia Airlines, Qatar Airways y Ryanair operan este modelo.

**B787:** Apodado “Dreamliner”, es el primer avión comercial que se fabrica en un 50% con materiales compuestos (plástico reforzado con fibra de carbono), los que son más resistentes y ligeros que el aluminio, lo que le da a la aeronave una estructura más liviana. Además de consumir un 20% menos de combustible y generar menos emisiones de carbono que los aviones de tamaño similar. Air Canada, Air Europa, Air New Zelanda y All Nipon Airways operan este modelo.

**Optimización de las rutas de vuelo:** La manera de cómo se vuela desde un punto a otro tiene una gran importancia en cuanto al impacto de combustible utilizado y a las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan, por lo que la adquisición de softwares de planificación de vuelo han servido para que los vuelos sean planificados de una manera más optima y permitan a las tripulaciones saber las condiciones cambiantes del entorno para de esta manera poder tomar decisiones que generen un nivel de consumo de combustible más eficiente. Los softwares entregan información actualizada acerca del viento, temperaturas y condiciones climáticas (tormentas eléctricas, hielo, nubes de polvo, etc.), esto permite a la

tripulación cambiar la altitud, velocidad y dirección del vuelo contribuyendo a una mejora en la gestión ambiental. Los sistemas de optimización de rutas generan:

- Eficiencia de combustible
- Reducción de la huella de carbono
- Reducción de los costos de combustible.

**Reducción de peso a bordo:** Un avión más ligero consumirá menos combustible y, por lo tanto, emitirá menos CO<sub>2</sub>, por ende, las aerolíneas están en la constante búsqueda de cómo realizar sus operaciones optimizando el peso de la aeronave y manteniendo la seguridad del vuelo. Es considerado con reducción de peso de la aeronave la disminución de peso de cualquier elemento que puede generar una eficiencia en el uso de combustible. Como parte de sus esfuerzos para reducir el peso de la aeronave las aerolíneas han tomado algunas de las siguientes medidas:

- **Instalación de asientos más ligeros.**
  - Aegean Airlines, en aviones A320 y A321, ayudo a reducir las emisiones en 450 toneladas por mes
  - Air France en sus aviones Airbus A350 utiliza el asiento Premium Economy, el cual es 13 kilogramos más ligero.
  - Ryan Air utiliza Asientos Slimline, el cual mejora el espacio en las piernas, reduce 850 kilogramos el peso por avión y reduce en un 1% el consumo de combustible.
  - Iberia utiliza los llamados Slim Seats, los cuales entregan más espacio en las piernas del pasajero y reducen el peso del avión en 350 kilogramos.
- **Carros de comida:** se ha tomado como medida la reducción de peso de catering remplazando los carros de comida por unos que sean más modernos y más ligeros.
  - Aegean Airlines ha logrado reducir 50 toneladas de emisiones de dióxido de carbono por mes.
  - China Airlines utiliza carros 3 kilogramos más livianos que su antecesor, permitiéndole disminuir el peso cada aeronave en 100 kilogramos.

- **Optimización en la cantidad de agua potable a bordo:** Al tener una mayor cantidad de agua a bordo se genera un mayor consumo de combustible por lo que el administrar el volumen de agua que transportará la aeronave mediante un cuidadoso cálculo de la carga planificada de pasajeros (número real de pasajeros) y la distancia de vuelo generará una reducción de las emisiones de CO2. Esta medida ha sido adoptada por Emirates, Air India, China Airlines, EVA AIR, JETBLUE.
  - Aegean Airlines reporta una reducción de emisiones de 40 toneladas al mes mediante esta medida.
- **Cambio en la Vajilla:** JAL, Singapur Airlines y Air France han reportado cambios en el material de su vajilla a bordo.
  - Air France a bordo del Airbus A350, la vajilla de la cabina Business que utiliza es más ligera, ya que algunos artículos están hechos de melamina, lo que representa una reducción de 15 kg.
- **Reemplazo de alfombras y chalecos salvavidas con modelos más livianos:** esta medida fue adoptada por Austrian Airlines y su impacto en la reducción de emisiones no presenta registros.
- **Reducción de peso en revistas:** aligerar la carga en vuelos mediante el uso de papel más ligero para producir las revistas a bordo.
  - China Airlines proyecta que la “nueva revista” reducirá aproximadamente 5kg de papel en cada vuelo y esto permitirá ahorrar 170,000 galones de combustible al año.
- **Digitalización de documentos:** Se ha optado por hacer uso de la tecnología y utilizar iPads que reemplacen los baúles con carpetas que contienen la información que pilotos y tripulaciones deben llevar en los vuelos.
  - Hainan Airlines mediante el programa EFB minimizo el uso de papel en la cabina en los B737 y B787, ahorrando hasta 200 y 220 toneladas de combustible al año.
  - United Airlines luego de la instalación de las tablets en sus B737 y B767 proyecta ahorrar hasta 1700 toneladas de combustible al año.

- American Airlines estima un ahorro combustible para aviones de aproximadamente 400,000 galones por año.
- **Contenedores de carga más ligeros:** Uso de contenedores de nuevo diseño hechos de materiales más livianos para transportar el equipaje de los pasajeros. Cathai Pacific, China Airlines, Emirates, EVA AIR y Qantas son aerolíneas que han tomado esta medida sin especificar el beneficio obtenido.
  - Japan Airlines integro contenedores de material de fibra de vidrio “Twintex” el cual reduce en 26 kg por contenedor el peso del avión.
- **Optimización de combustible para rutas:** Se busca establecer la cantidad óptima de combustible para que el avión llegue a la puerta de embarque en el destino de manera segura, eliminando el peso innecesario de combustible. Esto se lleva a cabo mediante el seguimiento regular de las tendencias de rendimiento y monitoreo del combustible para así establecer el consumo para cada ruta de vuelo, ajustando los cálculos de acuerdo al uso real de combustible. A su vez se realiza un control del peso de la aeronave mediante el exacto de pasajeros y el peso de la carga antes de generar el plan de vuelo con el fin de calcular con precisión el peso de la aeronave y la carga de combustible requerida.
- **Optimización en el Pintado de la aeronave:** Las capas de pinturas utilizadas tienen directa relación tanto con el peso de la aeronave como con la aerodinámica, por ende, al utilizarse de manera eficiente se puede optimizar el consumo de combustible. Iberia ha implementado un sistema que permite ahorro en materiales y tiempo de pintado, ya que se necesita una única capa de pintura, este sistema es el llamado Basecoat/Clearcoat:
  - Basecoat: se caracteriza por estar altamente pigmentado permitiendo lograr una opacidad con muy bajos espesores de pintura, logrando los resultados con una capa de pintura que con otras técnicas se logra con 2 o 3 capas.
  - Clearcoat: Es el sistema de barnizado de la aeronave, el cual le entrega un brillo muy alto conocido como el “efecto mojado” y a su vez actúa como agente protector frente a los cambios atmosféricos y erosión.

Este sistema optimiza el consumo de combustible y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que se volará con un avión más ligero por el uso de menos capas de pintura, a su vez

por las propiedades de Clearcoat el avión mantendrá el brillo y la pintura por más tiempo por lo que requerirá menos ciclos de pintado optimizando su nivel de operaciones.

**Instalación de dispositivos de punta alar:** La adición de winglets (Boeing) o sharklets (Airbus), los cuales están ubicados de forma vertical en los extremos de las alas proporciona un aumento de la eficiencia aerodinámica, aumenta el alcance de la aeronave y reduce el consumo de combustible, por lo tanto, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>.

- Alaska Air tras la instalación de Winglets en su flota redujo en 6000 toneladas sus emisiones anuales.
- American Airlines ahorro más de 66 millones de galones de combustible por año y aproximadamente 700,000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- ALL Nipon Airways logro reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> en 2100 toneladas por avión anualmente.
- Volaris logro un 4% de ahorro de combustible y a su vez una reducción de 1800 toneladas de CO<sub>2</sub> por año.

**Lavado de motores:** Al realizar las operaciones los motores acumulan pequeñas piezas de polvo en el compresor, además de grasas y otros contaminantes lo que genera que este reduzca la eficiencia en la utilización de combustible, por lo que lavar regularmente los motores restaura el rendimiento de la aeronave y provoca una menor quema de combustible en los vuelos. Aerolíneas como All Nipon Airways, Copa Airlines, EVA Air, Air France, China Airlines y Lufthansa llevan a cabo este proceso rutinariamente sin presentar sus beneficios.

- Japan Airlines ha logrado una reducción de más de 50.000 Toneladas de CO<sub>2</sub> por año.
- KLM Royal Dutch Airlines logro una reducción del consumo anual de combustible en casi un 1%.

**Rodaje monomotor:** Hay momentos en los que el remolque de la aeronave no es una opción, por lo que esta debe ser movida por sus propios motores cuando está en tierra y para llevar

este proceso a cabo de manera más eficiente en cuanto al combustible y ecológica se ha optado por realizar esta acción con un motor encendido (en caso que la aeronave sea bimotor) o dos motores encendidos (en caso que la aeronave sea cuadrimotor).

- United Airlines reporta un ahorro de cinco millones de galones por año tras la utilización de la medida.
- Air France tras la práctica del “pilotaje ecológico” logro un ahorro del 3% en el consumo de combustible.
- RyanAir mediante el taxeo mono motor logro una reducción de un 1% en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Apagado de la unidad de potencia auxiliar (APU) mientras se está en tierra:** Las aeronaves cuentan con un motor de cola llamado APU, el cual proporciona electricidad y aire acondicionado a la cabina incluso cuando los motores están apagados en el aeropuerto. El APU también necesita combustible para su funcionamiento por lo que mientras esté funcionando quema combustible, por lo tanto, emite CO<sub>2</sub>. Por esta razón, de ser posible cuando está en la pista se opta por la utilización de la unidad de potencia de tierra GPU para que la aeronave pueda recibir electricidad lo que reduce la emisión de gases y la generación de ruido. Y se opta por encender el APU justo antes de la salida. Aerolíneas que utilizan esta medida son: Japan Airlines, Iberia, EVA AIR, China Airlines, Copa Airlines, Delta, Emirates, United Airlines y RyanAir.

**Enfoque de descenso continuo (CDA):** Es un método de operación de aeronaves el cual se apoya en un diseño adecuado del espacio aéreo y en la apropiada comunicación y autorización del control de tráfico aéreo (ATC), esto permite que una aeronave descienda continuamente con un empuje mínimo del motor desde el inicio del descenso hasta el punto de aproximación final, en vez de descender en etapas con períodos de vuelo nivelado. El método CDA fortalece la colaboración entre explotadores de aeronave, explotadores de aeropuertos y entidades regulatorias. Este método es efectivo para reducir tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> como el ruido. United Airlines, Norwegian, Japan Airlines, Comair, Delta son aerolíneas que implementan este método sin presentar el beneficio obtenido.

**Reciclaje:** Los pasajeros en los vuelos generan desechos, los cuales son los restos de los artículos que se le son entregados por parte de la aerolínea para el viaje, un pasajero en promedio produce 1,43 kilogramos de desechos de cabina (IATA, 2020), a su vez los empleados en las oficinas están constantemente utilizando recursos como el papel y la electricidad. Por este motivo las aerolíneas han optado por buscar oportunidades para:

- Reducir el consumo de recursos: mediante programas incentivar a sus empleados a utilizar de una forma eficiente los papeles en las oficinas, además de la utilización de luces Leds, las cuales reducen el consumo de energía.
  - Emirates implemento una campaña llamada “Think Before You Print”, la cual logro una reducción del 33% en los volúmenes de impresión y más de 2 millones de kWh de electricidad.
  - Qantas remplazo la iluminación en todas sus áreas operativas por leds de bajo consumo.
  - United Airlines Posee certificación LEED por la eficiencia energética en tres de sus instalaciones: Chicago, San Francisco y Houston.
- Reciclaje de artículos: Los programas de reciclaje hacen énfasis en los desechos producidos al finalizar un vuelo con el fin de evitar que una amplia gama de materiales llegue a los vertederos, a su vez la utilización de aguas residuales de manera eficiente.
  - Emirates Flight Catering es un programa de reciclaje para el papel, cartón, aluminio, latas, botellas y contenedores plásticos recolectados posterior al vuelo.
  - Air Astana realiza la separación de desechos de papel, plásticos y baterías usadas, además de la utilización de las aguas residuales para el lavado de ruedas y frenos.
  - Air New Zelanda recupera y vuelve a poner en circulación los productos del vuelo que no se tocaron ni se abrieron, reinyectando a la red más de 280 toneladas de productos.

- Reciclar materiales cuando estos llegan al fin de su vida útil: Desarrollo de mejores prácticas para la gestión de los procesos del fin de la vida útil de las aeronaves y sus componentes, lo que incluye la reutilización eficiente y el reciclaje seguro de los materiales.
  - Emirates en un proyecto adquirió asientos de un Airbus A340 en retiro y realizaron modificaciones para que se ajustaran a sus simuladores de cabina de evacuación de emergencia y sus simuladores de entrenamiento de servicio de cabina.

**Programas de compensación de carbono:** Es un proceso que utiliza con el fin de mitigar el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero que se producen por las operaciones aeronáuticas, específicamente por los gases que surgen del uso de combustibles fósiles. Por medio de este proceso los pasajeros tienen la opción de compensar las emisiones de carbono que provocan sus viajes, mediante las donaciones a diversos proyectos medioambientales certificados. Algunas aerolíneas cuentan con calculador de emisiones en sus sitios webs en donde el pasajero puede obtener la información de su itinerario.

- Air France cuenta con el programa de reforestación Trip and Tree
- Air New Zelanda posee el programa Fly Neutral con el cual recaudan dinero para comprar créditos de carbono de proyectos ambientales seleccionados.
- Austrian Airlines con las donaciones de su programa de compensación a contribuido a plantas fotovoltaicas, plantas hidroeléctricas y plantas eólicas.
- Easy Jet ha invertido en proyectos de reforestación en América del Sur y África y también en proyectos de aguas limpias en África en lugares donde no hay agua potable.

### **Implementación de Sistema de Gestión Ambiental.**

Las operaciones que se realizan en la industria aeronáutica tienen un impacto en el medio ambiente por lo que los operadores tienen la opción de implementar un sistema de gestión ambiental (EMS) con el fin de gestionar desde un enfoque estructurado, sistemático y documentado el impacto ambiental que tiene cada una de sus operaciones, el desempeño ambiental y sus obligaciones.

En el sector de las líneas aéreas el EMS que proporciona la IATA se llama IEnvA, el cual es desarrollado por la IATA, aerolíneas y expertos en los temas de sostenibilidad ambiental, a su vez el programa se verifica mediante el cumplimiento de los requisitos de la ISO14001:2015. IEnvA proporciona un enfoque sistemático para cumplir con las regulaciones proporcionando eficiencia para enfrentar los desafíos que comúnmente enfrenta la industria, utilizando practicas recomendadas y probadas. El programa IEnvA proporciona a las aerolíneas los siguientes beneficios:

- Desarrollo de una estrategia ambiental: El enfoque estructurado de la EMS le otorga al operador una visión clara sobre los impactos ambientales que generan sus operaciones y les dirigen hacia donde deben enfocar sus esfuerzos.
- Credibilidad e Imagen: El incorporar el EMS se envía un mensaje acerca de la responsabilidad ambiental.
- Control sobre la implementación de cambios: IEnvA se enfoca en los principios de control y procedimientos documentados, esto entrega claridad de los caminos en especial en los procesos de cambio.
- Mejora el cumplimiento legal: Reduce los costos asociados al incumplimiento de las obligaciones ambientales.
- Menor costo en el uso de recursos: Utilización de nuevas tecnologías y digitalización, encontrando nuevas formas de reducir costos y usos de recursos.
- Mejora en el desempeño ambiental: Establecer metas y objetivos ambientales que estén en continua mejora.

Por otro lado, a diferencia de un EMS genérico el programa IEnvA tiene diversos alcances para las aerolíneas que decidan optar por su implementación, El alcance inicial de IEnvA incluye las operaciones de vuelo y las actividades corporativas (CORE), sin embargo, no se limita a este alcance mínimo ya que puede extenderse a las actividades de mantenimiento (MRO), Catering (CF) o Ground Handling (GH).

La complejidad que presentan las aerolíneas y su presencia global plantea desafíos para la implementación de un EMS por lo que IATA implementa el programa IEnvA en dos fases:

- Etapa 1: La aerolínea establece el marco para su EMS e identifica y cumple con sus requisitos legales y requiere que la aerolínea tenga:
  - Desarrolló una política ambiental.
  - Liderazgo ambiental establecido y responsabilidades.
  - Desarrolló de un alcance para su sistema IEnvA.
  - Identificación de problemas ambientales relevantes.

Aerolíneas en Etapa 1 IEnvA		
Aerolínea	Ámbito	Vigencia
Air Canada	CORE	01-12-2020
Airlink	CORE	01-04-2021
British Airways	CORE	20-08-2021
Etihad	CORE	01-02-2022
Iberia	CORE	01-03-2022
LATAM Colombia	CORE	01-11-2020
Vueling	CORE	01-03-2022

Tabla 5: Aerolíneas que obtuvieron el certificado IEnvA Etapa 1, el alcance en el cual lo obtuvieron y su respectiva vigencia. Elaboración Propia. Fuente: IATA.

- Etapa 2: La aerolínea determina la importancia de aspecto ambiental por lo que establece objetivos y metas monitoreando los requisitos, evaluaciones internas y revisiones de la administración. Para alcanzar esta etapa la aerolínea requiere desarrollar:
  - Criterios de calificación de riesgo.
  - Planes de gestión ambiental para abordar problemas ambientales y lograr los objetivos.
  - Programas de capacitación ambiental.
  - Planes de comunicación ambiental.

Aerolíneas en Etapa 2 IEnvA		
Aerolínea	Ámbito	Vigencia
Air New Zeland	CORE, MRO, GH	20-01-2022
Grupo Icelandair	CORE, MRO	01-02-2021
LATAM Airlines	CORE	01-06-2021
Qatar Airways	CORE, MRO, GH	01-12-2021
South African Airways	CORE, MRO	01-01-2022
Finnair	CORE, CF	01-06-2021

Tabla 6: Aerolíneas que obtuvieron el certificado IEnvA Etapa 2, el alcance en el cual lo obtuvieron y su respectiva vigencia. Elaboración Propia. Fuente: IATA.

### **3.5. ESTIMACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES.**

En esta sección, se consideró la utilización de las aeronaves de nueva generación A320neo, B788 y B789, para operaciones en rutas de corto, mediano y largo alcance respectivamente, específicamente para las rutas SCL-LIM, SCL-MIA y SCL-MAD. Fueron considerados los vuelos internacionales con origen Santiago, ya que, el 98% del tráfico aéreo internacional tiene como origen o destino el aeropuerto Arturo Merino Benítez (Resumen Estadístico Transporte Aéreo, JAC, 2019).

Teniendo en consideración las aeronaves y rutas antes mencionadas, se procederá a estimar el ahorro de combustible y, por ende, el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>, que generan las siguientes medidas:

- Limitar el uso de APU
- Lavado de motores
- Implementación de asientos más ligeros
- Implementación de contenedores y pallets ultra livianos.

Para la estimación de las medidas se utilizarán datos entregados por los proveedores y literatura de estudios sobre el tema.

Por otro lado, para las herramientas económicas, se expondrá las resoluciones realizadas por la OACI acerca del COSRIA y sus posibles modificaciones por debido al COVID19, y para el programa offset de la IATA, se realizará el cálculo de las toneladas de CO<sub>2</sub> asociadas al pasajero para las rutas establecidas, con la finalidad de analizar la diferencia en las toneladas emitidas asociadas al pasajero, para este cálculo se utilizarán los datos entregados por la calculadora OACI y su metodología.

Debido a que parte de los datos obtenidos corresponden a estimaciones, datos históricos y promedios del transporte aéreo internacional, esta sección pretende servir como una guía aproximada a cerca del ahorro de combustible y crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a los pasajeros, para las medidas y rutas antes mencionadas y no pretende ser una evaluación en concreto.

## Tecnología.

### Renovación de flota

Como se ha mencionado anteriormente una de las principales inversiones que realizan las aerolíneas se basa en la adquisición de los últimos modelos de aeronaves con el fin de optimizar el uso de combustible y por consecuencia disminuir las emisiones de CO2 al medioambiente, mediante estas inversiones se pretende:

- Ahorrar en el consumo de combustible
- Disminuir la contaminación acústica
- Realizar operaciones más ecoeficientes

En el caso de las rutas seleccionadas para el análisis SCL-LIM, SCL-MIA y SCL-MAD, se trabajará con los siguientes consumos de combustible los cuales son estimaciones realizadas por la OACI para estos modelos de aeronaves:

Corto Alcance SCL-LIM		Mediano Alcance SCL-MIA		Largo Alcance SCL-MAD	
Modelo	Combustible [Kg]	Modelo	Combustible [Kg]	Modelo	Combustible [Kg]
A320	9531	B777-200	57207	A330-200	69835
A320neo	8101	B787-8	41004	B787-9	63049

Tabla 7: Diferencia de consumo de combustible por aeronaves para las rutas seleccionadas.  
Elaboración propia. Fuente: OACI.

Como se puede apreciar en la tabla 7, las aeronaves de nuevas generaciones como lo son el A320neo y B787 Dreamliner, poseen un menor consumo de combustible en las operaciones que realizan en comparación con los modelos anteriores, esto se debe principalmente a los modelos de motores, que han sido creados específicamente para estas flotas, los cuales reducen su consumo entre un 15 y un 25%.

Por su parte, Airbus se encuentra desarrollando una aeronave, el A321XLR, el cual pretende ser una nueva y eficiente opción para que las aerolíneas realicen vuelos de mediano alcance con un menor consumo de combustible, llegando a ser un 30% más eficiente que sus antecesores según informa el proveedor aéreo. En Chile, Aerolíneas como SKY Airlines y Jetsmart SPA, ya han ordenado la compra de este modelo para ampliar sus rutas en la región.

En cuanto a las emisiones de CO2 relacionadas con el combustible utilizado para operar en las rutas antes mencionadas, aplicando el factor de conversión, el cual nos dice, que cada 1 kilogramo de combustible quemado se generan 3,157 kilogramos de CO2, tenemos lo siguiente:

SCL-LIM		SCL-MIA		SCL-MAD	
Modelo	Emisiones CO2 [Ton]	Modelo	Emisiones CO2 [Ton]	Modelo	Emisiones CO2 [Ton]
A320	30	B777-200	181	A330-200	220
A320neo	26	B787-8	129	B787-9	199

Tabla 8: Cantidad de emisiones de CO2 promedio de los modelos de aeronaves de nueva y antigua generación, para sus respectivas rutas. Elaboración Propia.

En la tabla 8, se muestra como la disminución del consumo de combustible mediante la adquisición de aeronaves de la nueva generación repercute directamente en la reducción de las emisiones de CO2 generadas por las operaciones.

### **Combustible de aviación sostenible (SAF)**

Los SAF son producidos y utilizados periódicamente alrededor del mundo, sin embargo, su producción se limita al 1% de la demanda total del Jet fuel (IATA, 2019), actualmente los potenciales sustitutos para el combustible fósil presentan limitaciones que restringen su aplicación a gran escala, algunas de esas limitaciones son los altos precios, los volúmenes de producción y la distribución. Por su parte muchas aerolíneas están inmersas en el tema, realizando vuelos experimentales, investigaciones y desarrollando tecnologías.

El desarrollo de este tipo de combustibles es la principal carta para que la industria aeronáutica disminuya sus emisiones de CO2, ya que los SAF permitirían reducir en un 80% los gases de efecto invernadero provocados por las operaciones aéreas.

En lo que a costos respecta, actualmente los SAF pueden llegar a ser hasta 7 veces más costosos que el combustible convencional, tal como se muestra en los siguientes datos los cuales están basados en el promedio del combustible fósil en el año 2019:

Precio Promedio Jet  $\approx$  0,51 USD/Kg  
 Precio Estimado SAF  $\approx$  3,57 USD/Kg

Se espera que la producción de combustibles alternativos para la aviación aumente con el pasar del tiempo, alcanzando un 2% de la demanda total para el año 2025, según las proyecciones de la IATA.

## **Operaciones terrestres.**

### **Limitar el uso del APU**

En el momento en el que el pasajero realiza el embarque para su vuelo, la aeronave necesita sistemas que le proporcionen electricidad, en muchos casos esta energía proviene de la unidad auxiliar APU, sin embargo, esta operación puede producir importante quema de combustible, por lo que, de ser posible, en la infraestructura aeroportuaria en donde se lleva a cabo el embarque, se recomienda apagar el APU y proporcionar estos requerimientos mediante la utilización auxiliar en tierra GPU, ya que esta unidad utiliza solamente 20 Kg de combustible por hora (United Continental).

P&WC es el principal proveedor de unidades de potencia auxiliar para la familia de Airbus A320 y para los B787. En el caso de la familia A320, este fabricante diseño un modelo estándar para toda la flota, el APS3200, sin hacer una distinción para la nueva generación de A320neo, por otro lado, para el Boeing 787 Dreamliner, realizó la fabricación del primer APU totalmente eléctrico, el cual posee el nivel de emisiones más bajos de la industria (PW&C).

Aeronave	APU	Consumo de combustible [Kg/hr]	Emisiones CO2 [Kg/hr]
A320neo	APS3200	142	448
B787	APS5000	227	717

Tabla 9: Combustible consumido por APU y emisiones CO2 que este genera, para los modelos A320neo y B787. Elaboración propia. Fuente: P&W.

La tabla 9, muestra las emisiones generadas por cada hora que está en funcionamiento el APU en los modelos antes mencionados, por lo que comparado con los 20 Kg/hora que consume el GPU, el limitar el uso del APU en tierra podría ahorrar 122 Kg y 207 Kg de combustible, para el A320neo y el B787 respectivamente.

## Lavado de motores.

Otra de las operaciones terrestres, que genera un ahorro significativo en el consumo de combustible, es el procedimiento de lavado de motores, el cual permite quitarle cualquier partícula contaminante que puede haber absorbido en el vuelo, para de esta manera mejorar el rendimiento del motor y aumentar su vida útil. Este procedimiento podría llegar a generar un ahorro del 1% del combustible utilizado anualmente por las aerolíneas (Alpha bravo, proveedor de servicio lavado de motores).

Tomando en consideración las rutas seleccionadas para el análisis, y teniendo en cuenta los datos proporcionados por la JAC, en relación a la cantidad de despegues que se realizaron el año 2019, desde el aeropuerto de Santiago hacia esos destinos, se puede tener un estimado del combustible ahorrado el año 2019 mediante la aplicación de esta medida, estos resultados se basan en el nivel óptimo de la aplicación de la medida, y no toma en cuenta los diversos factores externos que pueda enfrentar la aeronave en vuelo, los que producirán una variación en el consumo de combustible, los resultados de la aplicación de la medida se presentan en la siguiente tabla:

Destino	Despegues	Combustible Total [Ton]	Combustible Ahorrado al año [Ton]
Lima	5682	46030	460
Miami	1010	41414	414
Madrid	908	57248	572

Tabla 10: Cantidad de combustible ahorrado considerando la eficiencia óptima de la medida de lavado de motores. Elaboración propia.

En la tabla 10, podemos observar que la cantidad de ahorro de combustible, para el nivel óptimo, mediante la aplicación de la medida puede llegar a ser de hasta 1447 toneladas de combustible al año, lo que a su vez generará un ahorro de hasta 4568 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> hacia el medioambiente.

## Reducción de peso

Como se ha mencionado anteriormente, el peso de la aeronave tiene directa relación con el consumo de combustible, ya que, a menor peso, menor será la cantidad de combustible utilizada en un vuelo determinado, por ende, menor serán las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Teniendo esto en consideración, a continuación, se evaluarán dos medidas de reducción de peso: La implementación de asientos más ligeros y la utilización de contenedores ultra livianos.

Para los efectos de los cálculos, se tendrá como referencia la relación aproximada del peso de la aeronave con el consumo de combustible, las cual nos indica, que para transportar 1Kg extra de peso adicional por hora se necesitan 0,04Kg de combustible (Nordisk Aviation, 2020), si bien esta relación está sujeta a diversos factores, es una medida utilizada en la industria para este tipo de cálculos.

### Asientos más ligeros.

Con el fin de reducir dentro de la aeronave, las aerolíneas han tomado diversas medidas para sus flotas, como los son el digitalizar documentos, revistas más livianas, carros de comida ultra livianos, entre otros. Sin embargo, la medida que mayor reducción de peso puede llegar a generar para la aeronave es el utilizar asientos más ligeros, sin que el pasajero pierda su comodidad, como en las aeronaves, hay mayoritariamente asientos para la clase económica, se evaluará la reducción de combustible asociada a esta medida, tomando en consideración lo siguiente:

Aeronave	Asientos Totales	Asientos Clase Económica
A320neo	180	180
B787-8	248	206
B787-9	296	266

Tabla 11: Cantidad de asientos de clase económica existente en las aeronaves A320neo y B787. Elaboración propia.

Junto con los datos obtenidos en la tabla 11, en cuanto a la cantidad de asientos de clase económica que poseen cada uno de los modelos de aeronaves, se procede a realizar una comparación de los asientos de clase económica disponibles en el mercado, para cada una de estas flotas:

Airbus A320neo			Boeing B787		
Asiento	Estándar	Ligero	Asiento	Estándar	Ligero
Peso [Kg]	15	9	Peso [Kg]	15	12

Tablas 12: Especificaciones de peso de los asientos estándar y los ligeros. Elaboración propia.

En la tabla 12, se tiene la diferencia entre los pesos de los asientos de clase económica, obteniendo una diferencia de 6Kg por asiento para la aeronave A320neo, y una diferencia de 3kg por asiento para las aeronaves de modelo B787-8 y B787-9. Por lo que, con esta información, se procede a estimar la cantidad de combustible asociado a la utilización de ambos tipos de asiento, para cada ruta y aeronave:

<u>SCL-LIM</u>			3,75 horas de vuelo		
Asientos	Estándar	Ligero			
Consumo de combustible [Kg]	405	243			
Emisiones totales [Kg]	1279	767			
<u>SCL-MIA</u>			8,83 horas de vuelo		
Asientos	Estándar	Ligero			
Consumo de combustible [Kg]	1091	873			
Emisiones totales [Kg]	3446	2756			
<u>SCL-MAD</u>			13,5 horas de vuelo		
Asientos	Estándar	Ligero			
Consumo de combustible [Kg]	2154	1724			
Emisiones totales [Kg]	6802	5442			

Tabla 13: Combustible y emisiones asociadas a la utilización de los dos tipos de asientos para cada ruta. Elaboración propia.

Mediante la adopción de la medida, se puede observar una importante disminución del combustible requerido para operar en estas rutas, además de la disminución de emisiones que esto produce, teniendo una disminución de 511, 689 y 1360 Kilogramos de CO<sub>2</sub> al medioambiente.

### Contenedores Ultra livianos.

Para la aplicación de esta medida, se considerará, exclusivamente la flota de B787, esto debido a que las aerolíneas que operan aeronaves de fuselaje angosto como el A320neo, suelen transportar la carga a granel, por lo que no suelen utilizar este tipo de medida para este tipo de aeronaves.

En el caso de las bodegas de las aeronaves de fuselaje ancho, como lo es el B787, el equipaje es cargado dentro de contenedores, los cuales agregan un peso extra al vuelo, por lo que tener en consideración cuales son los modelos más livianos en comparación con los modelos estándar, puede generar una importante disminución de peso para los vuelos, a continuación, se presentan distintas unidades de carga de tipo AKE, compatibles con el B787:

Contenedor	Estándar	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Tara [Kg]	82	72	55	49
Capacidad Máxima [Kg]	1588	1588	1588	1588
Volumen [m <sup>3</sup> ]	4,5	4,2	4,3	4,4

Tabla 14: Características de diversos tipos de contenedores tipo AKE. Elaboración propia.

Como se puede observar, en comparación con los contenedores estándar, en el mercado existen diversos modelos confeccionados de materiales más ligeros, llegando a haber una diferencia entre el peso del contenedor estándar y el más liviano de 33Kg, teniendo prácticamente las mismas especificaciones en cuanto a capacidad máxima y volumen.

Debido a que los contenedores tipo AKE, poseen características similares en cuanto a la capacidad máxima y el volumen, se puede realizar una estimación, sobre la cantidad de combustible asociada al uso de cada modelo de contenedor, teniendo en cuenta las rutas de mediano (SCL-MIA) y largo (SCL-MAD) alcance seleccionadas, considerando la cantidad de horas que dura cada uno de estos vuelos:

Contenedor	Estándar	Modelo A	Modelo B	Modelo C
SCL-MIA [hrs]	8,83	8,83	8,83	8,83
Consumo de combustible [Kg]	29,0	25,4	19,4	17,3
Emissiones de CO2 [Kg]	91,4	80,3	61,3	54,6
SCL-MAD [hrs]	13,5	13,5	13,5	13,5
Consumo de combustible [Kg]	44,3	38,9	29,7	26,5
Emissiones de CO2 [Kg]	139,8	122,7	93,8	83,5

Tabla 15: Estimación de combustible asociado a un contenedor dependiendo del modelo y la respectiva cantidad de emisión asociado. Elaboración propia.

En la tabla 15, se observa la relación directa entre el peso y el consumo de combustible, ya que, a medida que el contenedor es más liviano, menor es la cantidad de combustible asociada, teniendo diferencias mayores a 10kg de combustible entre el contenedor estándar y el de tipo C.

### **Pallets livianos.**

Los pallets son elementos utilizados tanto en aviones de carga como en los de transporte de pasajeros, para los efectos de este informe, se trabajará con los pallets tipo PAG o P1P, estos elementos, al igual que los contenedores AKE, tienen un peso en vacío (Tara), el cual depende del modelo, peso que repercutirá en la cantidad de combustible asociada a la inclusión de estos elementos en la aeronave:

Pallets	Estándar	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Tara [Kg]	152	120	110	95

Tabla 16: Peso en kilogramos de los distintos modelos de pallets. Elaboración propia.

Como se observa, existe una importante diferencia de pesos entre los distintos modelos de PAG, existiendo una diferencia de hasta 57 Kg, entre el pallet estándar y el modelo más liviano, diferencia de peso que estará directamente relacionada con el consumo de combustible para las rutas elegidas, SCL-MIA y SCL-MAD.

Pallet	Estándar	Modelo A	Modelo B	Modelo C
SCL-MIA [Hrs]	8,83	8,83	8,83	8,83
Consumo de combustible [Kg]	53,7	42,4	38,9	33,6
Emisiones de CO2 [Kg]	169,5	133,8	122,6	105,9
SCL-MAD [Hrs]	13,5	13,5	13,5	13,5
Consumo de combustible [Kg]	82,0	64,8	59,4	51,3
Emisiones de CO2 [Kg]	259,1	204,6	187,5	161,9

Tabla 17: Estimación de combustible asociado a la utilización de cada modelo de pallets y su respectivo nivel de emisiones. Elaboración propia.

## Herramienta Económicas.

### Impacto de COVID-19 en CORSIA.

La presencia de la pandemia, a nivel global, ha resultado en una fuerte disminución en la actividad de la aviación, dando entre otros resultados, una disminución significativa en relación a las emisiones de CO2 esperadas para el sector en 2020, comparadas con las emisiones de CO2 previstas previo a la pandemia.

En un principio, la línea base de CORSIA, se definía como el promedio de las emisiones totales de CO2 para los años 2019 y 2020 en las rutas cubiertas por CORSIA, compensando a partir del 2021. Por lo que, esta línea base inicial aplicada a la situación actual, tendrá una disminución significativa en comparación con el escenario sin COVID-19. Cabe mencionar, que los efectos de la pandemia no solo afectarán la actividad de la aviación para el año 2020, sino también la actividad de los años siguientes. El impacto de la pandemia de COVID-19, podría afectar las siguientes características de diseño de CORSIA (OACI, CORSIA y el COVID19):

- CORSIA, se debe calcular los requisitos de compensación anual para los operadores de aviones cada año a partir de 2022, teniendo como base un factor de crecimiento anual de sector, el cual representa el crecimiento de las emisiones CO2 de la aviación a partir del 2021, en comparación con la línea de base sectorial de CORSIA (promedio de 2019 y 2020).

- Cálculo de los requisitos de compensación anual de un operador de aviones durante la fase piloto, de 2021 a 2023, el cual requiere la multiplicación del factor de crecimiento del sector del año correspondiente por el valor de emisiones del explotador. Para realizar este procedimiento el estado puede elegir entre dos opciones:
  - Emisiones de un operador en un año determinado, es decir, emisiones de 2021, 2022 y 2023;
  - Emisiones de 2020 del operador para cada uno de los tres años durante la fase piloto.

Por lo tanto, el impacto en los requisitos de compensación anual en la fase piloto, no depende únicamente del crecimiento del sector, sino de la elección de referencia de emisiones del Estado.

Debido a la incertidumbre que provoca la pandemia en la actividad de la aviación, las consideraciones para ajustar la línea base de CORSIA, se realizará mediante el estudio de los datos técnicos y evaluaciones correspondientes, por lo que la OACI, tomo la siguiente decisión:

- 31 de octubre del 2022: será la primera instancia en la que se dará información sobre las medidas a aplicarse en la línea base (de ser necesario), junto con esto se proporcionará el valor correspondiente al factor de crecimiento sectorial correspondiente a las emisiones de CO<sub>2</sub> del año 2021, para el cálculo de los requisitos de compensación de 2021.

Desafíos para la verificación.

Debido a las restricciones de movilidad que se han implementado por motivos de la pandemia, el proceso de verificación de los informes de emisiones ha presentado retrasos, ya que, diversos estados y explotadores de aviones han expresado su preocupación con respecto a su capacidad para cumplir con los plazos de presentación de informes.

Esto se debe a que, se describe como parte fundamental del proceso de verificación, la visita al sitio, con el fin de que el organismo de verificación recopile evidencia suficiente y adecuada para confirmar si el Informe de Emisiones está libre de incorrecciones materiales y no conformidades materiales. Sin embargo, existe la posibilidad de realizar un enfoque

alternativo de manera remota con análisis y coordinación de riesgos, si se opta por este modo de verificación, debe ser indicado claramente en el Informe de verificación. Esto incluye, el porqué de la decisión de realizarlo así, y la explicación detallada de los sistemas técnicos utilizados (OACI, CORSIA y el COVID19).

### **Estimación CO2 relacionadas con el pasajero.**

Para el cálculo de las toneladas de CO2 asociadas al pasajero, se ha tomado en consideración del programa de compensación de carbono desarrollado por la IATA con el fin de que los pasajeros tengan la oportunidad de compensar las emisiones relacionadas a su viaje. Por lo que para realizar estas estimaciones se tomaron en consideración los siguientes datos:

- Aeronaves de última generación operativas actualmente: A320neo, B787-8 y B787-9.
- Cantidad de asientos correspondientes a las que especifica el proveedor (Airbus y Boeing).
- Relación Pasajero/Carga para rutas entre continentes entregadas por la OACI en su metodología de calculador de emisiones.
- Factor de ocupación promedio entregado por la IATA para aerolíneas de América latina en 2019.

Datos	SCL - LIM	SCL – MIA	SCL – MAD
Modelos	A320neo	B787-8	B787-9
Asientos	180	248	296
Combustible total [Ton]	8,101	41,004	63,049
Distancia [Km]	2459	6651	10712
Pax/Carga	0,8266	0,7727	0,7669
Factor Ocupación	0,829	0,829	0,829
Factor Conversión	3,157	3,157	3,157

Tabla 18: Datos promedios de la industria requeridos para realizar las estimaciones de CO2 por tramo asociados a un pasajero (OFFSET). Elaboración Propia. Fuente: Airbus, Boeing y OACI.

Mediante la recopilación de estos datos, se procede a estimar la cantidad de toneladas de CO2 asociados a cada pasajero que vuela las rutas antes mencionadas de corto, mediano y largo alcance, y junto con esto obtener el monto que el pasajero debiese pagar:

Cantidad a compensar	SCL-LIM	SCL-MIA	SCL-MAD
Compensación [Ton CO2]	0,142	0,487	0,622
Compensación [USD]	1,42	4,87	6,22

Tabla 19: Cantidad de emisiones a compensar, medidas en toneladas de CO2 y en USD, para los tramos seleccionados. Elaboración propia.

En la tabla 19, se puede apreciar que la cantidad de carbono a compensar depende ampliamente del alcance la de ruta, ya que para distancias más cortas se generarán menos emisiones por lo que el monto a compensar será menor que para los viajes con destinos más lejanos.

### 3.6 PROYECCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>.

Para realizar las proyecciones del aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> que tendrá la aviación comercial, se realizó un análisis con respecto a rutas de corto, mediano y largo alcance, y el tráfico aéreo esperado con horizonte el año 2035, para de esta forma, tener una idea de cómo es el panorama con respecto al crecimiento neutral de carbono y la importancia de que en la industria se desarrollen tecnologías, y por sobre todo avances en el tema del combustible sostenible para la aviación. Para estimar dicho crecimiento de emisiones se utilizará la ecuación 3, con la que se obtendrá las emisiones relacionadas a cada pasajero según el tramo a analizar (Tabla 19). Cabe mencionar que, debido a la incertidumbre en la que está envuelta la industria, la cual es provocada por la situación mundial de la pandemia de COVID19, se harán una serie de suposiciones basados en los datos que se manejan actualmente y las estimaciones realizadas por la IATA:

Supuestos proyección demanda de pasajeros para las rutas definidas de corto, mediano y largo alcance (Tablas completas en la sección de anexos):

- Tráfico de pasajeros:
  - 2020: El tráfico aéreo de pasajeros disminuye en un 55% en comparación al 2019.
  - 2021: El tráfico aéreo de pasajeros aumenta en un 60% en comparación al 2020.
  - 2024: se recuperan los niveles de tráfico aéreo del 2019, por lo que en los años anteriores hay un crecimiento constante hasta alcanzar esa cifra.
  - 2024: A partir del 2024 y hasta el 2035, se tomará el crecimiento anual de pasajeros, obtenido mediante la aplicación de la regresión lineal para el escenario sin pandemia, es decir, si mediante la aplicación de la regresión, se obtuvo que un crecimiento determinado para el 2020 en comparación del 2019, este crecimiento se supondrá, para el crecimiento anual del 2025 en comparación al 2024, año que se debiese recuperar los niveles del 2019, y así sucesivamente, hasta el año 2035.

Supuestos adicionales para estimar el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en las rutas de corto, mediano y largo alcance:

- Factor Pasajero/carga se mantiene constante durante los años.
- Factor de ocupación:
  - 2020: Se utiliza el promedio de la región hasta la fecha.
  - 2021-2023: Existe un aumento constante en el factor de ocupación hasta alcanzar el promedio antes de la pandemia en 2024.

Tras realizar las estimaciones, basadas en los supuestos antes mencionados, y considerando las rutas antes mencionadas, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto al aumento total de emisiones de CO<sub>2</sub> (Tablas completas en sección de anexos):

#### SCL-LIM

Para la ruta de corto alcance, en cuanto a pasajeros transportados, CO<sub>2</sub>/Pasajero y emisiones totales se obtuvieron los siguientes resultados:

Año	Pax Transportados	CO <sub>2</sub> /Pax	Emisiones Totales [Ton]
2019	887597	0,142	126039
2025	898739	0,142	127621
2030	1243811	0,142	176621
2035	1588883	0,142	225621

Tabla 20: Estimación de pasajeros transportados para la ruta SCL-LIM, y su respectiva emisión de CO<sub>2</sub> asociada. Elaboración propia.

En la tabla 20 se puede observar, que tomando como año de comparación el 2019, en 2025 habrá un aumento de 11142 pasajeros transportados, esto debido a la recuperación esperada de la industria, dando como resultado un aumento de emisiones de un 1%, sin embargo, ya con una recuperación total, estos niveles aumentarán drásticamente para los años 2030 y 2035, los cuales tendrán un crecimiento de emisiones de 40% y 79% respectivamente.

## SCL-MIA

Para la ruta de mediano alcance, en cuanto a pasajeros transportados, CO<sub>2</sub>/Pasajero y emisiones totales se obtuvieron los siguientes resultados:

Año	Pax Transportados	CO <sub>2</sub> /Pax	Emisiones Totales [Ton]
2019	234749	0,487	114323
2025	255850	0,487	122599
2030	310360	0,487	151145
2035	364869	0,487	177691

Tabla 21: Estimación de pasajeros transportados para la ruta SCL-MIS, y su respectiva emisión de CO<sub>2</sub> asociada. Elaboración propia.

En la tabla 21, se puede observar, que el aumento de emisiones para esta ruta en comparación con la ruta de corto alcance (SCL-LIM) será menor, ya que, para el año 2030, se espera un crecimiento de estas emisiones en un 32%, porcentaje que seguirá en aumento para el 2035, llegando a aumentar en un 55%, en comparación con el año 2019. Cabe mencionar que este crecimiento puede ser mayor aún, en el caso que las aerolíneas de bajo costo comiencen a transitar esta ruta, ya que tanto SKY Airlines como JetSmart SPA, han adquirido un modelo de aeronave que posee rango de alcance para volarla.

## SCL-MAD

Para la ruta de largo alcance, en cuanto a pasajeros transportados, CO<sub>2</sub>/Pasajero y emisiones totales se obtuvieron los siguientes resultados:

Año	Pax Transportados	CO <sub>2</sub> /Pax	Emisiones Totales
2019	234749	0,622	155466
2025	253391	0,622	157609
2030	316650	0,622	196956
2035	379909	0,622	236303

Tabla 22: Estimación de pasajeros transportados para la ruta SCL-MAD, y su respectiva emisión de CO<sub>2</sub> asociada. Elaboración propia.

En este caso, el crecimiento de emisiones de CO<sub>2</sub> esperado para los años 2030 y 2035, será de un 27% y 52% respectivamente.

### 3.7. IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS

Considerando el combustible utilizado para cada vuelo indicado en la tabla 7, como el combustible inicial, se procede a realizar el cálculo estimado del combustible utilizado, tras la implementación de las medidas de lavado de motores, reducción de peso de los asientos de clase económica y reducción de peso de contenedores y pallets, en caso de que aplique esta medida, obteniéndose los siguientes resultados para las tres rutas:

Ruta	SCL-LIM	SCL-MIA	SCL-MIA
Modelo Aeronave	A320neo	B787-8	B787-9
Combustible Inicial [Ton]	8,101	41,004	63,049
Ahorro por lavado de motores [Ton]	0,081	0,410	0,630
Ahorro por asientos ligeros [Ton]	0,162	0,218	0,282
Ahorro por contenedores livianos [Ton]	No aplica	0,186	0,356
Ahorro por pallets livianos [Ton]	No aplica	0,081	0,154
Combustible final [Ton]	7,858	40,109	61,626

Tabla 23: Ahorro de combustible que produce la implementación de las medidas. Elaboración Propia.

La capacidad máxima de la bodega de las aeronaves en cuanto a contenedores y pallets, es de 9 pallets o 28 contenedores para el B787-8, y de 11 pallets o 36 contenedores para el B787-9 (Manual de operación de tierra de LATAM), en este caso para estimar el ahorro de combustible se consideró, que la parte delantera ira a capacidad máxima en cuanto a contenedores, 16 para el B787-8 y 20 para el B787-9, y la parte de atrás de la bodega ira a capacidad máxima de pallets, 4 para el B787-8 y 5 para el B787-9.

#### Ahorro emisiones de CO2

Mediante la obtención de este nuevo consumo de combustible, se realizó la estimación de la cantidad de CO2 asociado al pasajero, mediante la utilización de la ecuación 3, dando como resultado que la nueva cantidad de CO2 asociada al pasajero para las rutas de Lima, Miami y Madrid, son de 0,137, 0,475 y 0,608 Toneladas por pasajero respectivamente. Esta disminución del CO2 asociado al pasajero, generará una disminución de emisiones a lo largo de los años para las rutas:

Ruta	CO2/Pax inicial [Ton]	CO2/Pax final [Ton]	Disminución de emisiones
SCL-LIM	0,142	0,137	3,521%
SCL-MIA	0,486	0,475	2,464%
SCL-MAD	0,622	0,606	2,250%

Tabla 24: Disminución porcentual de las emisiones de CO2 aplicando las medidas. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla, la implementación de las medidas dará como resultado, una disminución en las emisiones generadas por las operaciones de estas rutas, ya que, a menor uso de combustible, menor será la cantidad de CO2 que genera la realización de estos vuelos.

## 4. CONCLUSIONES

---

La situación medioambiental es un tema relevante a nivel global, el cual está presente en todas las industrias, ya que, toda actividad humana genera emisiones de gases de efecto invernadero, es por esto que, para mitigar el impacto medioambiental generado por el desarrollo industrial, se necesita una participación en conjunto de todos los estados a nivel global, ya que, como ha ocurrido en la COP25, 104 estados se han mostrado dispuestos a ser más ambiciosos en cuanto a sus metas ambientales, sin embargo, estos estados representan tan solo un 15,1% de las emisiones de GEI a nivel mundial, por lo que su ambición para mejorar sus propuestas, no generará un impacto importante en las emisiones globales anuales.

El caso de las aerolíneas comerciales, no está ajeno a la implementación de medidas de reducción de emisiones, sin embargo, tal como se expone a lo largo de la investigación, en ocasiones, estas medidas se ven frenadas de cierta manera, cuando los estados implementan impuestos discriminatorios a la aviación, encareciendo el pasaje aéreo y reduciendo el tráfico aéreo de pasajeros, dándole a la industria en general, dificultades para desarrollar e implementar nuevas tecnologías debido a la disminución de ingresos.

Actualmente, el entorno de la actividad de la aviación comercial, está inmersa en una gran incertidumbre debido a la pandemia del COVID19, lo que se refleja en la espera por parte de la OACI, en cuanto a la modificación de los parámetros para el plan CORSIA, ya que, el análisis para dicha modificación está sujeta a la evolución y recuperación que tenga la actividad aérea con horizonte el año 2022, año en que las aerolíneas deberán compensar sus emisiones por primera vez. Por esta misma razón, las proyecciones de las emisiones generadas en vuelos comerciales, están sujetas a múltiples variaciones y a factores puntuales, tal como la velocidad con que se cree una vacuna efectiva y la recuperación de la confianza de los pasajeros para volver a volar.

Por otro lado, con el fin de disminuir las emisiones de CO2 provocadas por sus operaciones, específicamente, enfocadas en el objetivo del crecimiento neutral de carbono, las aerolíneas se guían por el sistema de cuatro pilares propuestos por la IATA, operaciones, tecnología, Infraestructura y herramientas económicas, indagando en la web se puede encontrar cuales

son las medidas que las aerolíneas utilizan a nivel global, específicamente en las páginas propias de cada aerolínea, sin embargo, no hay una profundización en muchas de estas medidas.

En el lado operativo, tanto en tierra como en aire, se ha identificado diversas medidas que están utilizando las aerolíneas, con el fin de optimizar su consumo de combustible, en tierra de ha optado por el mantenimiento y eficiencia de los motores, tanto de los motores principales como de la unidad de potencia auxiliar, por el lado, para el vuelo las aerolíneas en general, están en la constante búsqueda de disminuir su peso en vuelo, tomando diversas medidas que le ayuden a esto, esto se debe, a que el peso está en directa relación con el consumo de combustible, ya que, a un menor peso, menor será la cantidad de combustible necesaria para realizar una ruta en específico.

Respecto a la tecnología, se puede observar, que las principales medidas al respecto caen en mano de los proveedores, en el caso de los proveedores de aeronaves, estos están generando aeronaves más livianas, realizadas por materiales compuesto, para de esta forma se consuma menor cantidad de combustible, por el lado de los proveedores de motores, constantemente están en la fabricación de elementos más eficientes en el consumo de combustible, que se adapten a las aeronaves de nueva generación, para de esta manera que el mercado cuente con aeronaves de última generación, esto se refleja en las flotas tanto del Airbus A320neo, como del Boeing 787 Dreamliner, debido a que los modelos de motores que utilizan son exclusivamente diseñados para estas aeronaves, y en el caso del Boeing 787, cuenta con un APU totalmente eléctrico, diseñado únicamente para su flota. A su vez se puede observar, la implementación de diversos softwares adoptados por las aerolíneas, para generar una retroalimentación en vuelo, informando constantemente a la tripulación, ante cualquier posible situación que pueda provocar una desviación de la ruta previamente establecida, en relación a esta medida, la principal fuente de información fueron las páginas webs de las aerolíneas, ya que, en el resto de la literatura la información al respecto era escasa.

En cuanto al pilar de la IATA referido a la infraestructura, la investigación no presenta mayores acotaciones al respecto, esto se debe a que estas medidas provienen principalmente de la planeación y desarrollo aeroportuario y del espacio aéreo, que tienen como fin cumplir con los requisitos de las aerolíneas en cuanto a seguridad, eficiencia y funcionalidad. Desde

el punto de vista de las aerolíneas, estas deben enfocar sus esfuerzos en tener la capacidad tecnológica para explotar los beneficios que les entreguen estos desarrollos.

En relación a las herramientas económicas, se ha provocado controversia al respecto, debido a que los programas de compensación, tanto CORSIA como el programa offset de la IATA, se pueden interpretar como un sistema a cerca de “pagar por contaminar”, sin embargo, estos programas son la solución de corto y mediano plazo, para que las aerolíneas puedan cumplir con la meta del crecimiento neutral de carbono.

Finalmente, en los datos entregados por las proyecciones realizadas, se puede observar una disminución de las emisiones en el corto plazo, provocado principalmente por la disminución en la actividad de la aviación por la pandemia, sin embargo, en el mediano y largo plazo, cuando aviación haya superado cualquier repercusión de la pandemia, los niveles de tráfico aéreo volverán a aumentar y junto con esto se elevarán los niveles de CO<sub>2</sub> producidos por las operaciones aéreas.

En relación a los desafíos futuros, es esencial tener en consideración que las medidas de reducción de combustible, no son suficientes para generar un cambio y una reducción definitiva de la huella de carbono generada por las aerolíneas en el largo plazo, por lo que, la implementación de los programas de compensación cumple un rol fundamental, desde el punto de vista orientado al cumplimiento de los objetivos propuestos por la IATA. Por ende, el desarrollo de nuevas tecnologías es importante, si se considera el crecimiento se ha alcanzado y que se espera, en cuanto al transporte aéreo de pasajeros. Los principales esfuerzos de la industria, están enfocados en el combustible sostenible (SAF), el cual está en aumento, pero sus costos siguen siendo muy elevados, y a su vez su suministro es demasiado limitado para usarlo a gran escala, por otro lado, se trabaja a la par en la fabricación de una aeronave eléctrica para el uso comercial, prototipo que está proyectado por la OACI para el año 2040.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

---

UNFCCC. The Kyoto Protocol – The Doha Amendment. <<https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/the-doha-amendment>>

UNFCCC. The Kyoto Protocol – What is the Kyoto Protocol. <[https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol)>

UNFCCC. The Paris Agreement – Que es el acuerdo de Paris. <<https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>>

UNFCCC. The Paris Agreement – Status of ratification. <<https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification>>

IATA. IATA - Environmental Assessment: Comprehensive Program Overview. <<https://www.iata.org/contentassets/d7c439030235477db9b92a932bff4958/ienvabrochure2020.pdf>>

IATA. Fact Sheet – Climate Change. <<https://www.iata.org/contentassets/c4f9f0450212472b96dac114a06cc4fa/fact-sheet-climate-change.pdf>>

IATA. IATA – El valor de la aviación en Chile. <[http://clacsec.lima.icao.int/2019-PUB/IATA/2019/Chile-Spanish\\_19.pdf](http://clacsec.lima.icao.int/2019-PUB/IATA/2019/Chile-Spanish_19.pdf)>

IATA. IATA - Fact Sheet: Corsia. <<https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/corsia-fact-sheet.pdf>>

IATA. IATA - Environment: Climate Change. <<https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/>>

IATA. IATA Comunicado número 16. <<https://www.iata.org/contentassets/b331fb1f6b424a0d9c86222908644759/spanish-pr-2016-03-30-01.pdf>>

IATA. IATA Carbon Offset Program. <<https://www.iata.org/en/programs/environment/carbon-offset/>>

IATA. IATA Environmental Assessment (IEnvA).  
<<https://www.iata.org/en/programs/environment/environmental-assessment/#tab-2>>

IATA. IATA: Impuesto. <<https://www.iata.org/en/policy/taxation/#tab-2>>

JAC. Área Planificación y Estudio – Resumen Estadístico Transporte Aéreo Comercial en Chile. <<http://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/16.-INFORME-Diciembre-2019-1.pdf>>

CNN. La COP25 termina sin consenso sobre el polémico artículo 6 del Acuerdo de París. <[https://www.cnnchile.com/cop25/cop25-clausura-acuerdo-de-paris\\_20191213/](https://www.cnnchile.com/cop25/cop25-clausura-acuerdo-de-paris_20191213/)>

European Commission. EDGAR – Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries, 2019 report. <<https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=booklet2019&sort=des8>>

ONU. Noticias ONU – Termina la COP25 con pocos avances en cuanto a la reducción de emisiones de carbono. <<https://news.un.org/es/story/2019/12/1466671>>

Ministerio Medio Ambiente. Anteproyecto Ley Marco de Cambio Climático. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/Presentacion-Ley-Marco-CC.pdf>>

Ministerio Medio Ambiente. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>>

Ministerio Medio Ambiente. Huella de Carbono. <<https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>>

UACH. Bosques Pro Carbono - Economía del Carbono. <[https://www.uach.cl/procarbono/huella\\_de\\_carbono.html](https://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html)>

IPCC. Climate Change 2014: Sythesis Report. <[https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)>

ICAO. CORSIA: Plan de compensación y reducción de Carbono para la Aviación Internacional (Plan de Implantación) - OACI. <[https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/CorsiaBrochure\\_8Panels-SPA-Web.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/CorsiaBrochure_8Panels-SPA-Web.pdf)>

ICAO. Committee on Aviation Environment Protection (CAEP).  
<<https://www.icao.int/ENVIRONMENTAL-PROTECTION/Pages/CAEP.aspx>>

ICAO. ICAO Carbon Emissions Calculator. < <https://www.scribbr.es/detector-de-plagio/generador-apa/new/webpage/>>

ICAO. ICAO: CORSIA and COVID. < <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-and-Covid-19.aspx>>

Partnership for Market Readiness. Precio al Carbono en Chile.  
<<http://www.precioalcarbonochile.cl/wp-content/uploads/2017/04/BROCHURE-ESPA%C3%91OL.pdf>>

SendeCo2. Precios CO2 – SendeCo2. <<https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>>

DGAC. DAN 16 - ESQUEMA DE COMPENSACIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA LA AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL (CORSIA).  
<[https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2018/10/DAN\\_16-opinion.pdf](https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2018/10/DAN_16-opinion.pdf)>

DGAC. Normas DAN – DGAC. <<https://www.dgac.gob.cl/normativa/reglamentacion-aeronautica/normas-dan/>>

UTFSM. Mejoramiento Continuo de los procesos en la Organización 2016, Gestión de calidad de servicios.

UTFSM. Departamento de Industrias - Evaluación de proyectos generales 2017.

ACCIONA. ACCIONA ¿Qué es el cambio climático y como nos afecta?  
<<https://www.accionacom.es/cambio-climatico/>>

WMO. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019.  
<[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10211](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211)>

Airbus. A220 Family. <<https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a220-family.html>>

Airbus. A350 XWB Family. <<https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a350xwb-family.html>>

Airbus. A320neo. <<https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a320neo.html>>

Boeing. Boeing: 787 Dreamliner. <<https://www.boeing.com/commercial/787/>>

Boeing. Boeing: 737 MAX. <<https://www.boeing.com/commercial/737max/>>

Boeing. Boeing: Pallets and containers. <[https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about\\_bca/pdf/CargoPalletsContainers.pdf](https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/CargoPalletsContainers.pdf)>

Carbonbrief. Timeline: the Paris agreement “Ratchet mechanism”. <<https://www.carbonbrief.org/timeline-the-paris-agreements-ratchet-mechanism>>

Carbonbrief. COP25: Key outcomes agreed at the UN climate talks in Madrid. <<https://www.carbonbrief.org/cop25-key-outcomes-agreed-at-the-un-climate-talks-in-madrid>>

WRI. Stepping up 2020 NDCs. <<https://www.wri.org/stepping-2020-ndcs>>

Alpha-Bravo. Engine Wash-Alpha Bravo Aero Solutions. <<http://alpha-bravo.co.uk/engine-wash/>>

Open Airline. How to track your APU fuel burn on ground. <<https://blog.openairlines.com/how-to-track-apu-fuel-burn-on-ground#:~:text=According%20to%20United%20Continental%2C%20APU,kg%20of%20fuel%20per%20hour>>

Pratt & Whitney. Auxiliary power units (APU). <<https://www.pwc.ca/en/products-and-services/products/auxiliary-power-units>>

Pratt & Whitney. Pratt & Whitney Aeropower Rzeszow/ Our products. <<http://pwaeropower.com/en/apu-engine-center/our-products>>

Recaro. SL3510-Recaro Aircraft Seating. < <https://www.recaro-as.com/en/aircraft-seats/economy-class/sl3510.html> >

Recaro. CL3710-Recaro Aircraft Seating. < <https://www.recaro-as.com/en/aircraft-seats/economy-class/cl3710.html> >

LATAM. LATAM Cargo-ULD. < <https://www.latamcargo.com/en/uld>>

IAGCARGO. Boeing 787-9-IAG Cargo. < <https://www.iagcargo.com/es/page/fleet/boeing-787-9>>

Nodisk Aviation. Nordisk UltraLite AKE. < <http://www.nordisk-aviation.com/en/ld-containers/nordisk-lite-family/nordisk-ultralite-ake/>>

Aegean Airlines. Aegean Group: Environment. <<https://en.about.aegeanair.com/corporate-responsibility/environment/>>

Air Astana. Environment policy- Management report – Annual Report 2017. <<https://ar2017.airastana.com/en/management-report/environment>>

SITA. Air China to cut US\$8 million in fuel costs with SITA technology. <[https://www.sita.aero/pressroom/news-releases/air-china-to-cut-us\\$8-million-in-fuel-costs-with-sita-technology](https://www.sita.aero/pressroom/news-releases/air-china-to-cut-us$8-million-in-fuel-costs-with-sita-technology)>

Air France. CSR Strategy – Environment. <[http://corporate.airfrance.com/en/csr-strategy?\\_ga=2.168003812.490728505.1529042383-1912450895.1529042383](http://corporate.airfrance.com/en/csr-strategy?_ga=2.168003812.490728505.1529042383-1912450895.1529042383)>

The Economic Times. Air India saved Rs 46 cr by implementing fuel efficiency prog. <<https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/airlines-/aviation/air-india-saved-rs-46-cr-by-implementing-fuel-efficiency-progs/articleshow/4388486.cms>>

Air NZ. Air New Zealand makes the switch – Media releases. <<https://www.airnewzealand.co.nz/press-release-2017-air-new-zealand-makes-the-switch>>

Air NZ. Carbon Reduction & Management Strategies. <<https://www.airnewzealand.com/sustaina.-carbon-reduction-management>>

Alaska Airlines. 2016 sustainability report: Building a sustainable future. <<https://www.alaskaair.com/content/about-us/sustainability-report?lid=vanity-sustainability>>

American Airlines. American Airlines – Airline tickets and cheap flights at aa. <<https://www.aa.com/i18n/aboutUs/corporateResponsibility/environment.jsp>>

ANA Group. Efforts to reduce CO2 Emissions.  
<<https://www.ana.co.jp/group/en/csr/environment/effort.html>>

Austrian Airlines. Environment Responsibility.  
<[https://www.austrianairlines.ag/AustrianAirlinesGroup/Environment%20New.aspx?sc\\_lang=en](https://www.austrianairlines.ag/AustrianAirlinesGroup/Environment%20New.aspx?sc_lang=en)>

China Airlines. ECO Flights – China Airlines Environmental Action. <<https://calec.china-airlines.com/csr/environment/en/action-flight.html>>

Comair. Comair – Environmentally Responsible – Comair Limited.  
<<http://www.comair.co.za/corporate-responsibility/environmentally-responsible>>

Copa Air. Copa Airlines takes action to protect the environment.  
<<https://www.copaair.com/en/web/us/actions-environment>>

Delta News. What does fuel efficiency mean to Delta? <<https://news.delta.com/what-does-fuel-efficiency-mean-delta>>

Easy Jet. Carbon offsetting. <<http://www.easyjet.com/en/orange-spirit/environment>>

Emirates Airlines. Environment: Sustainability in operations.  
<<https://www.emirates.com/us/english/about-us/environment/sustainability-operations.aspx>>

Eva Air. Environment – Green Operations Management – Fuel Conservation Measures.  
<<http://www.evacsr.com/pages/en-us/ch4/saving-measures.aspx>>

Hainan Airlines. Environment Report 2015. <[https://www.hainanairlines.com/go/2017.6-6/DOCS/Responsibilities\\_and\\_Prospects/HNA\\_CSR-Report\\_2015\\_EN-2.pdf](https://www.hainanairlines.com/go/2017.6-6/DOCS/Responsibilities_and_Prospects/HNA_CSR-Report_2015_EN-2.pdf)>

Me gusta volar. ¿Influye la pintura de los aviones en el consumo de combustible?  
<<http://megustavolar.iberia.com/2013/12/influye-la-pintura-de-los-aviones-en-el-consumo-de-combustible/>>

Japan Airlines. Japan Airlines: CSR – Global Warming.  
<<https://www.jal.com/en/csr/environment/conservation/detail01.html>>

Japan Airlines. Japan Airlines: CSR – Eco-First Commitment.  
<<http://www.jal.com/en/csr/environment/ecofirst/>>

Green Airline. JetBlue turns in impressive fuel efficiency gains but emissions continue to grow as a result of traffic growth on GreenAir Online. <<https://www.scribbr.es/detector-de-plagio/generador-apa/new/webpage/>>

Buying Business Travel. KLM reveals new business class seat.  
<<https://buyingbusinesstravel.com/news/1328681-klm-reveals-new-business-class-seat>>

Lufthansa Systems. Flight Operations Solutions – LIDO Flight Planning Solutions.  
<<https://www.lhsystems.com/solutionservices/operationsolutions/lidoflightplanning/lidoflight4D>>

Lufthansa Technik. Efficient engine cleaning. <<https://www.lufthansa-technik.com/cyclean-old>>

Norwegian. Helping the Environment.  
<<https://www.norwegian.com/en/about/company/corporate-responsibility/environment/>>

GE News. When A Qantas Pilot Asks, "Am I Making A Difference?" FlightPulse Has An Answer. <<https://www.ge.com/reports/want-better-way-fly-jet-qantas-pilots-now-app/>>

Ryan Air. Ryan Air – Environmental & Social.  
<<https://investor.ryanair.com/governance/esg/#1467712637141-d166d878-7a66>>

Rolls Royce. Rolls-Royce and Singapore Airlines extend total care partnership to reduce fuel consumption. <<https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/press-releases/2015/pr-17a-06-15-rr-and-singapore-airlines-extend-totalcare-partnership-to-reduce-fuel-consumption.aspx>>

Singapore Airlines. Company – Sustainability.  
<[https://www.singaporeair.com/en\\_UK/es/about-us/sustainability/](https://www.singaporeair.com/en_UK/es/about-us/sustainability/)>

United Airlines. United Airlines – Fuel efficiency and emissions reduction.  
<<https://www.united.com/ual/en/us/fly/company/globalcitizenship/environment/fuelefficiency-and-emissions-reduction.html>>

Volaris. Volaris – Informe de Responsabilidad Social 2018. <<https://cms.volaris.com/globalassets/pdfs/esp/reporte-anual-sustentabilidad-volaris-2018.pdf>>

Aeropuerto de Carrasco. Tasa de embarque - Aeropuerto de Carrasco - Montevideo Uruguay. <<https://www.scribbr.es/detector-de-plagio/generador-apa/new/webpage/>>

Lima Airport. Lima Airport - Tarifa Aeroportuaria – Información para pasajeros. <<https://www.lima-airport.com/esp/para-pasajeros/informacion-para-viaje/tarifa-aeroportuaria>>

Aeropuerto Internacional El Dorado. Aeropuerto Internacional el Dorado – Bogotá, Colombia. <<https://eldorado.aero/vuelos>>

SABSA. SABSA – Preguntas frecuentes. <<http://www.sabsa.aero/faq>>

Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Tarifas 2020. <<https://www.aicm.com.mx/negocios/tarifas>>

Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre. Tasas aeroportuarias – Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre. <<http://aeropuertoquito.com/tasas-aeroportuarias/>>

GRU Airport. GRU Airport – Institucional – Tarifas. <<https://www.gru.com.br/es/institucional/sobre-gru-airport/tarifas>>

AENA. AENA – Guia de tarifas. <<http://www.aena.es/csee/ccurl/584/553/Guia%20de%20tarifas%20junio%202020.pdf>>

Aeroports de Paris. Aeroports de Paris – Groupe ADP. <[https://www.parisaeroport.fr/docs/default-source/professionnel-fichiers/services-aux-compagnies-aeriennes/adp--tarifs2020homologu%C3%A9s\\_\\_eng.pdf?sfvrsn=46d6c0bd\\_4](https://www.parisaeroport.fr/docs/default-source/professionnel-fichiers/services-aux-compagnies-aeriennes/adp--tarifs2020homologu%C3%A9s__eng.pdf?sfvrsn=46d6c0bd_4)>

ANA Network. Aeroportos de Portugal – Charge Guide. <[https://www.ana.pt/en/system/files/documents/charges\\_guide\\_2020\\_-\\_airlines\\_en\\_new.pdf](https://www.ana.pt/en/system/files/documents/charges_guide_2020_-_airlines_en_new.pdf)>

Aeroporti di Roma. Aeriporti di Roma - Sviluppo dei costi ammessi e proposta dei corrispettivi dei servizi regolamentati Proposta tariffaria 2020. < [https://www.adr.it/documents/10157/17305857/13\\_ITA\\_Sviluppo+dei+costi+ammessi+e+proposta+dei+corrispettivi+dei+servizi+regolamentati.pdf/e857ce0e-6a65-4469-a6bf-46cf75d3a2d8](https://www.adr.it/documents/10157/17305857/13_ITA_Sviluppo+dei+costi+ammessi+e+proposta+dei+corrispettivi+dei+servizi+regolamentati.pdf/e857ce0e-6a65-4469-a6bf-46cf75d3a2d8)>

Frankfurt Airport. Frnakfurt Airport – Airport Charges. < [https://www.fraport.com/content/dam/fraport-company/documents/geschaefsfelder/betrieb/flughafenentgelte/Entgelte%202020.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original./Entgelte%202020.pdf](https://www.fraport.com/content/dam/fraport-company/documents/geschaefsfelder/betrieb/flughafenentgelte/Entgelte%202020.pdf/_jcr_content/renditions/original./Entgelte%202020.pdf)>

Schiphol. Schiphol AMS airport charges, levies, slots and conditions. < <https://www.schiphol.nl/en/route-development/page/ams-airport-charges-levies-slots-and-conditions/>>

Swedavia Airports. Swedavia Airports – Airport charges & conditions of services. < [https://www.swedavia.com/globalassets/flygmarknad/airport\\_charges\\_and\\_conditions\\_of\\_services\\_2020.pdf](https://www.swedavia.com/globalassets/flygmarknad/airport_charges_and_conditions_of_services_2020.pdf)>

Brussels Ariport. Brussels Airport – Charges & fees at Brussels Airport. < <https://media.brusselsairport.be/bruweb/default/0001/29/9d2ac1778629763e330c64b1573952915059a3f6.pdf>>

Aeropuerto Copenhague. Aeropuerto Copenhague - TAKSTREGULATIV FOR KØBENHAVNS LUFTHAVN. < <https://www.cph.dk/48dd37/globalassets/9.-cph-business/5.-aviation/charges-and-slot/takster/charges-regulations-cph-dk-1.-januar-2020-final.pdf>>

## 6. ANEXOS

Año	Proyección Demanda (Regresión Lineal)	Crecimiento Anual	Pax Transportados (Situación real esperada)
2012	418054	-	418054
2013	436854	4,50%	436854
2014	458009	4,84%	458009
2015	551588	20,43%	551588
2016	620939	12,57%	620939
2017	716777	15,43%	716777
2018	820236	14,43%	820236
2019	887597	8,21%	887597
2020	937828	5,66%	399419
2021	1009844	7,68%	639070
2022	1081860	7,13%	702977
2023	1153876	6,66%	773275
2024	1225892	6,24%	850602
2025	1297908	5,87%	898739
2026	1369924	5,55%	967754
2027	1441940	5,26%	1036768
2028	1513956	4,99%	1105782
2029	1585972	4,76%	1174797
2030	1657988	4,54%	1243811
2031	1730004	4,34%	1312826
2032	1802020	4,16%	1381840
2033	1874036	4,00%	1450854
2034	1946052	3,84%	1519869
2035	2018068	3,70%	1588883

Tabla 25: Proyección de transporte de pasajeros para la ruta SCL-LIM mediante la utilización de regresión lineal, adecuando la demanda a la situación actual. Elaboración propia.

Año	Proyección demanda (Regresión Lineal)	Crecimiento Anual	Pax Transportados (situación real esperada)
2012	169429	-	169429
2013	177971	5,04%	177971
2014	182152	2,35%	182152
2015	225942	24,04%	225942
2016	256660	13,60%	256660
2017	246493	-3,96%	246493
2018	232889	-5,52%	232889
2019	234749	0,80%	234749
2020	266978	13,73%	105637
2021	278354	4,26%	169019
2022	289730	4,09%	185921
2023	301106	3,93%	204513
2024	312482	3,78%	224965
2025	323858	3,64%	255850
2026	335234	3,51%	266752
2027	346610	3,39%	277654
2028	357986	3,28%	288556
2029	369362	3,18%	299458
2030	380738	3,08%	310360
2031	392114	2,99%	321261
2032	403490	2,90%	332163
2033	414866	2,82%	343065
2034	426242	2,74%	353967
2035	437618	2,67%	364869

Tabla 26: Proyección de transporte de pasajeros para la ruta SCL-MIA mediante la utilización de regresión lineal, adecuando la demanda a la situación actual. Elaboración propia.

Año	Proyección demanda (Regresión lineal)	Crecimiento Anual	Pax Transportados (situación real esperada)
2012	160585	-	160585
2013	172741	7,57%	172741
2014	185010	7,10%	185010
2015	187590	1,39%	187590
2016	213817	13,98%	213817
2017	237861	11,25%	237861
2018	232473	-2,27%	232473
2019	249945	7,52%	249945
2020	264412	5,79%	112475
2021	277614	4,99%	179960
2022	290816	4,76%	197956
2023	304018	4,54%	217752
2024	317220	4,34%	239527
2025	330422	4,16%	253391
2026	343624	4,00%	266043
2027	356826	3,84%	278695
2028	370028	3,70%	291347
2029	383230	3,57%	303998
2030	396432	3,44%	316650
2031	409634	3,33%	329302
2032	422836	3,22%	341953
2033	436038	3,12%	354605
2034	449240	3,03%	367257
2035	462442	2,94%	379909

Tabla 27: Proyección de transporte de pasajeros para la ruta SCL-MAD mediante la utilización de regresión lineal, adecuando la demanda a la situación actual. Elaboración propia.

Año	Pax Transportados	CO2/Pax	Emisiones totales [Ton]
2012	418054	0,142	59364
2013	436854	0,142	62033
2014	458009	0,142	65037
2015	551588	0,142	78325
2016	620939	0,142	88173
2017	716777	0,142	101782
2018	820236	0,142	116474
2019	887597	0,142	126039
2020	399419	0,188	75154
2021	639070	0,167	106651
2022	702977	0,158	110746
2023	773275	0,149	115361
2024	850602	0,142	120785
2025	898739	0,142	127621
2026	967754	0,142	137421
2027	1036768	0,142	147221
2028	1105782	0,142	157021
2029	1174797	0,142	166821
2030	1243811	0,142	176621
2031	1312826	0,142	186421
2032	1381840	0,142	196221
2033	1450854	0,142	206021
2034	1519869	0,142	215821
2035	1588883	0,142	225621

Tabla 28: Estimación de las emisiones de CO2 generadas por el transporte de pasajeros con horizonte 2035 para la ruta SCL-LIM. Elaboración propia.

Año	Pax Transportados	CO2/Pax	Emisiones Totales [Ton]
2012	169429	0,487	82512
2013	177971	0,487	86672
2014	182152	0,487	88708
2015	225942	0,487	110034
2016	256660	0,487	124993
2017	246493	0,487	120042
2018	232889	0,487	113417
2019	234749	0,487	114323
2020	105637	0,641	67713
2021	169019	0,569	96093
2022	185921	0,537	99782
2023	204513	0,508	103940
2024	224965	0,487	109558
2025	255850	0,487	124599
2026	266752	0,487	129908
2027	277654	0,487	135218
2028	288556	0,487	140527
2029	299458	0,487	145836
2030	310360	0,487	151145
2031	321261	0,487	156454
2032	332163	0,487	161764
2033	343065	0,487	167073
2034	353967	0,487	172382
2035	364869	0,487	177691

Tabla 29: Estimación de las emisiones de CO2 generadas por el transporte de pasajeros con horizonte 2035 para la ruta SCL-MIA. Elaboración propia.

Año	Pax Transportados	CO2/Pax	Emisiones Totales [Ton]
2012	160585	0,622	99884
2013	172741	0,622	107445
2014	185010	0,622	115076
2015	187590	0,622	116681
2016	213817	0,622	132994
2017	237861	0,622	147950
2018	232473	0,622	144598
2019	249945	0,622	155466
2020	112475	0,819	92091
2021	179960	0,726	130687
2022	197956	0,686	135705
2023	217752	0,649	141359
2024	239527	0,622	148986
2025	253391	0,622	157609
2026	266043	0,622	165479
2027	278695	0,622	173348
2028	291347	0,622	181218
2029	303998	0,622	189087
2030	316650	0,622	196956
2031	329302	0,622	204826
2032	341953	0,622	212695
2033	354605	0,622	220564
2034	367257	0,622	228434
2035	379909	0,622	236303

Tabla 30: Estimación de las emisiones de CO2 generadas por el transporte de pasajeros con horizonte 2035 para la ruta SCL-MAD. Elaboración propia.