

El transporte aéreo internacional en Colombia de 1992 a 2019: Incidencia en las emisiones de CO2 y su alcance en el Objetivo de Desarrollo Sostenible No.13 Acción por el clima.

Diana Marcela Carrillo Farigua

Proyecto de grado para optar al título de Economista

Director

Leonel Mauricio Ospina Gómez

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad de Administración de Empresas y Economía

Programa de Economía

2021

Dedicatoria

Con el corazón lleno de orgullo por el deber cumplido, dedico este trabajo a mi padre que desde el cielo me guía y me da el valor que he necesitado, a mi madre quien ha sido mi más grande apoyo, mi faro y mi mentora, a mi esposo que ha sido siempre incondicional y amoroso, a mi hija que desde que nació ha sido el motor de mi existencia y que llegó a mi vida a demostrarme el significado del amor más puro y más grande que existe. También dedico este trabajo al resto de mi familia que con amor infinito me han forjado en los más altos valores y a todos los amigos y conocidos que me dieron la mano en el transcurso de mi vida universitaria.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios porque su amor y su bondad no tiene fin y porque me ha permitido cumplir una meta muy importante, gracias a Él porque aunque me ha moldeado en duras batallas al final del día siempre me recibe y me da lo mejor.

Agradezco también a la universidad que me abrió sus puertas y me brindó a sus docentes que con su excelencia y su entrega por el deber me ayudaron en la formación profesional de la que hoy me siento tan satisfecha.

Contenido

1. Introducción	8
2. Planteamiento del problema	10
3. Hipótesis	12
4. Justificación	12
5. Objetivos	16
6. Marco Referencial	17
7. Marco Teórico	19
7.1 Teoría Económica	19
7.2 Estado del arte	23
8. Descripción del sector	30
9. Metodología	33
10. Descripción de la metodología	35
10.1 Metodología Fase II	35
10.2 Metodología Fase III	37
11. Análisis de resultados	38
12. Conclusiones	45
13. Recomendaciones	47
Referencias	47

Lista de Tablas

Tabla 1.	14
<i>Emisiones de CO2 y de GEI en Colombia 1996-2016</i>	14
Tabla 2.	15
<i>Sectores que emiten en mayor medida CO2 y GEI en Colombia 1996-2016</i>	15
Tabla No. 3. Proyección por Mínimos Cuadrados Ordinarios.	35
Tabla No. 4. Proyección de las emisiones CO2 producidas hasta 2035.	37
Tabla No. 5. Variables del Modelo Lineal Múltiple.	38
Tabla 6. Emisiones de CO2 proyectadas.	42
Tabla No. 7. Resumen del modelo lineal múltiple.	43

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Contribución de las medidas para reducir las emisiones netas de CO2 de la aviación internacional.	16
Ilustración 2. Movimiento Anual de Pasajeros - Tráfico de pasajeros (1992-2020)	31
Ilustración 3. Movimiento Anual de Pasajeros - Tráfico de pasajeros (1992-2020)	32
Ilustración 4. Movimiento Anual de Pasajeros - Tráfico de pasajeros (2018-2020)	33
Ilustración 5. Comportamiento histórico Transporte aéreo internacional regular	39
Ilustración 6. Pasajeros salientes desde Colombia por continentes.	40
Ilustración 7. Pasajeros llegados a Colombia por continentes.	41

Resumen

La consolidación del fenómeno de globalización ha impulsado al sector aeronáutico a dinamizar su infraestructura a fin de alcanzar tasas de crecimiento cada vez mayores, naturalmente esto ha significado un efecto significativo en el impacto climático. En ese sentido esta investigación desarrolla un análisis del comportamiento de la aviación civil internacional en Colombia, su incidencia en las emisiones de CO₂ y su alcance en el cumplimiento de las metas del ODS No.13. Para tal fin, este documento se divide en cuatro partes: Inicialmente describe la importancia del ODS No. 13 en el PND; seguido explica la teoría económica y estado del arte, posteriormente se describen los datos que pretenden demostrar la hipótesis planteada y al final se encuentran las conclusiones.

Palabras Clave: Transporte aéreo, aeronavegación, aeronáutica, emisiones de CO₂, economía ambiental, sostenibilidad, disminución, contaminantes, objetivos de desarrollo.

Clasificación JEL: A10, A11, A12, C03, C33, C42.

Línea de investigación institucional. Sociedad y Cultura

Línea del programa. Integración Económica y Acuerdos Internacionales

Abstract

The consolidation of the globalization phenomenon has prompted the aeronautical sector to dynamize its infrastructure in order to achieve ever higher growth rates, naturally this has had a significant effect on the climate impact. In this sense, this research develops an analysis of the behavior of international civil aviation in Colombia, its impact on CO2 emissions and its scope in meeting the goals of SDG No. 13. To this end, this document is divided into four parts: Initially, it describes the importance of ODS No. 13 in the PND; then it explains the economic theory and state of the art, later the data that intends to demonstrate the hypothesis raised are described and at the end the conclusions are found.

Key Words: Air transport, air navigation, aeronautics, CO2 emissions, environmental economics, sustainability, reduction, pollutants, development objectives.

1. Introducción

La Agenda 2030 para el desarrollo se ha convertido en un plan mundial de acción que pone en ruta el pensamiento social, económico y ambiental de la humanidad a largo plazo. Este compromiso internacional tiene como intención reducir la pobreza, la desigualdad y el impacto climático, con el fin de gozar del ideal de paz y prosperidad a nivel mundial.

En la implementación de La Agenda 2030 se plantearon diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS- los cuales forman metas graduales y definitivas a los grandes desafíos que afrontan los gobiernos en todo el mundo. Estos deben ser el marco de los programas y políticas que orienten a las administraciones a avanzar en términos de transformación sostenible.

Dicho esto, las industrias han de plantear estrategias que les permitan cumplir con las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que tengan mayor efecto en su actividad. Se debe mencionar entonces que dichos Objetivos son transversales y que para los efectos de esta investigación, la aeronavegación articula las particularidades en quince de los diecisiete -ODS-, sin embargo es la iniciativa número trece (Acción por el Clima) la que fundamenta esta investigación.

Es importante recalcar que en los medios de transporte existentes, el sector aéreo es el que mayor aporta emisiones de CO₂ al ambiente debido al tamaño de la operación que realiza, es por esto que desde los gobiernos se contribuye a la minimización de residuos y de huellas ambientales para preservar la vida y la salud futura de los ecosistemas y de las sociedades humanas, a través de los acuerdos establecidos en las instituciones internacionales.

Tal es el caso del sector de transporte aéreo, el cuál es fundamental para la conectividad internacional dentro de la globalización en las sociedades modernas porque permite acortar distancias, interconectar culturas, desarrollar operaciones empresariales, entre muchos otros aspectos. Por su importancia, la aeronavegación requiere un trabajo conjunto con los gobiernos en políticas públicas, infraestructura y cooperación en términos de sostenibilidad ambiental y en reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), con el fin de cumplir las metas internacionales de reducción de gases tipo efecto invernadero (GEI).

Dentro de los 191 estados asociados de la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI), comunidad internacional encargada de suministrar parámetros de funcionamiento para el transporte regular de pasajeros y carga, se encuentra Colombia quién en el desarrollo de su operación de transporte aéreo ha pasado de movilizar 1.559.423 pasajeros en 1992 a 14.208.905 en el 2019 y ha pasado de mover 368.657.718 kilogramos de carga en 1992 a 645.017.381 kilogramos en 2019, con un crecimiento del 811% y 75% respectivamente, posicionándose como uno de los países líderes de la región en la prestación de este servicio.

Dicho de otro modo es tan importante el manejo de las emisiones de CO₂ en el sector que desde la OACI en el año 2016 se logró acordar un plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional denominado (CORSIA), que permitirá el crecimiento neutro en carbono. De tal modo que, para el 2050 las emisiones de la operación a nivel mundial se hayan reducido un 50%, esto se deberá al desarrollo de nuevas tecnologías tanto en la infraestructura como en el cambio de combustibles fósiles a biocombustibles hechos a base de cultivos y otros elementos naturales.

Siendo así se observa que la industria aeronáutica aún tiene muchos retos por superar en términos de progreso ambiental específicamente en disminución de huellas de carbono y se demuestra la pertinencia de desarrollar un trabajo que investigue a lo largo de sus capítulos la relevancia del sector aeronáutico en el desarrollo económico del país, y a su vez la incidencia de esta industria dentro de las emisiones proyectadas haciendo uso de metodologías econométricas rigurosas, que permitan analizar el comportamiento de la aviación comercial internacional en consecución con los objetivos de desarrollo sostenible.

En este sentido se justifica la necesidad de realizar una investigación que demuestre la incidencia del transporte aéreo internacional de pasajeros y carga en la proyección de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en Colombia y su alcance en el ODS No. 13 Acción por el Clima.

En consecuencia con el objetivo anterior el presente documento se divide de la siguiente manera, en la primera parte se describe la importancia del ODS No. 13 Acción por el clima en el Plan Nacional de Desarrollo –PND- y la clasificación de las emisiones de CO₂ en los departamentos y los sectores industriales en Colombia. En la segunda parte se presenta el marco referencial de la investigación, el cual menciona aquellos acuerdos internacionales que discuten temas de sostenibilidad ambiental y emisiones de CO₂, las teorías económicas y la literatura relacionada con la aviación civil y cambio climático. En la tercera parte se describen los datos utilizados en el modelo y los resultados obtenidos. Finalmente, en la cuarta sección se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del presente trabajo.

2. Planteamiento del problema

El transporte aéreo ha sido fundamental para la consolidación del actual fenómeno de globalización que caracteriza el comportamiento de la economía a nivel mundial.

Debido a que es un medio de transporte eficiente en cuanto a recorridos y a optimización del tiempo. Sin embargo, la alta conectividad que permiten los sistemas de aviación alrededor del mundo ha generado una contaminación atmosférica que en su mayoría se debe a los vuelos internacionales ya que el recorrido en kilómetros generalmente es mayor y las aeronaves pueden ser más robustas atendiendo a la necesidad de transportar gran volumen pasajeros y carga.

Si bien se sabe que la contaminación emitida por la industria aeronáutica afecta al ambiente y a la sostenibilidad de sus seres vivos, no se puede pretender una reducción total en las emisiones de carbono, debido a que esta actividad es necesaria en las desarrolladas economías de mercado capitalista y que este es un servicio de carácter obligatorio para el adelanto de actividades comerciales, económicas, turísticas, de salud, entre otras.

Es importante mencionar que los contaminantes primarios y gases de efecto invernadero (GEI) son los factores más relevantes en el calentamiento global, es por esto que los organismos internacionales de aviación civil como la OACI y la IATA han contemplado un plan de seguimiento a la cantidad de emisiones de CO₂ puestas en el aire derivadas de sus actividades con el fin de compensar y reducir en los próximos 30 años la mitad de emisiones con el fin de lograr el cumplimiento del ODS No.13 Acción por el Clima.

De acuerdo con lo planteado la presente investigación se enfocará en el comportamiento histórico del transporte aéreo internacional en Colombia de pasajeros y carga durante el periodo comprendido entre 1992 y 2019 y la incidencia que puede tener en las emisiones de CO₂ atendiendo a las metas graduales del Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 Acción por el clima, y por lo tanto, se formula la siguiente pregunta problema:

¿Cómo ha incidido el transporte aéreo internacional de pasajeros y carga en las emisiones de CO₂ en Colombia de 1992 a 2019 y cuál ha sido su alcance en el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 Acción por el Clima?

3. Hipótesis

De acuerdo con la pregunta planteada anteriormente, la hipótesis que se pretende validar en esta investigación será que el incremento en el transporte aéreo internacional de pasajeros y carga en Colombia se vio reflejado en un aumento en las emisiones de CO₂, afectando el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 Acción por el Clima.

4. Justificación

Desde la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y bajo la evaluación pertinente de sus 191 países asociados, se logró aprobar los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del nuevo milenio y en ellos prioriza los asuntos de reducción de la pobreza, la desigualdad y la mitigación del impacto climático.

Por esto, Colombia está comprometida con el cumplimiento de La Agenda 2030 y con los ODS, tanto así que en El Plan Nacional de Desarrollo para Colombia (2018-2022) se hace un Pacto por la Sostenibilidad que busca el equilibrio entre el desarrollo productivo y la conservación del ambiente que si bien potencie las economías no condicione los recursos naturales de las generaciones futuras. El pacto por la protección ambiental es uno de los enfoques de desarrollo más importantes dentro de la estrategia Nacional, debido a que Colombia se ubica en la posición 40 entre los países que más emiten GEI en el mundo. Siendo así el PND del actual gobierno propone que para el final del periodo se hayan reducido en 36 millones de toneladas de CO₂ los gases efecto invernadero, lo cual es equivalente a transformar todos los vehículos de gasolina del país a carros eléctricos, otro

de los retos presentados en el Plan de Desarrollo es migrar hacia un transporte sostenible ya que el 78% de las emisiones contaminantes al aire las aporta este sector.¹

Es por esto que en esta investigación se busca evaluar el sector de transporte aéreo internacional regular colombiano y su incidencia en las emisiones de CO₂ que son exteriorizadas en la atmósfera ejerciendo una fuerza imperiosa que supera la capacidad de soporte del planeta afectando la calidad de vida de los ecosistemas y la salud pública de la sociedad.

La movilización de pasajeros y de carga dentro del sector de transporte aéreo internacional en Colombia desde 1992 hasta el 2019 ha tenido un comportamiento creciente constante gracias a la necesidad del servicio que se agudiza con el dinamismo propio de la globalización, de tal modo esta actividad aporta emisiones gaseosas que pueden afectar la sostenibilidad, es decir, que compromete los recursos futuros mediante las acciones del presente.

En este sentido se puede observar que la reducción de emisiones de gases efecto invernadero es uno de los intereses específicos del desarrollo de las naciones dentro del marco de regulación internacional a pesar de la transversalidad de cada uno de los objetivos. Siendo así y siguiendo con el propósito de esta investigación se focaliza el ODS No. 13 que hace referencia a la acción por el clima, ya que en él se plantea. Según el PNUD (2016):

Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos; y se plantea como meta que, para limitar el calentamiento a 1,5 °C, las emisiones mundiales de

¹ Un Pacto por Colombia. PND 2018-2022. <https://id.presidencia.gov.co/especiales/190523-PlanNacionalDesarrollo/index.html>

CO2 deben disminuir en un 45 % entre 2010 y 2030, y alcanzar el cero alrededor de 2050.

(p.59)

Colombia de acuerdo al ‘Diseño del Plan de Acción de Cambio Climático’ se ha preocupado por reducir las emisiones gaseosas mediante estrategias de mitigación que impulsen el cumplimiento de las metas propuestas por los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Según los informes sobre la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) anunciados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las emisiones de CO2 hasta 2016 están comprendidas en las siguientes tablas.

Tabla 1.
Emisiones de CO2 y de GEI en Colombia 1996-2016

Departamentos que generan más emisiones	Porcentaje (%) de emisiones de CO2 Y GEI
Antioquia	22.94 Millones de toneladas.
Meta	21.24 Millones de toneladas.
Caquetá	19.84 Millones de toneladas.
Valle del Cauca	16.50 Millones de toneladas.
Santander	14.30 Millones de toneladas.
Total	94.82 Millones de toneladas.

Fuente. Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero Colombia (IDEAM)
Elaboración Propia

En la tabla No. 1 se puede observar anualmente el porcentaje de emisiones de CO2 son bastante significativas, siendo Antioquia el departamento que emite más residuos gaseosos en Colombia.

Tabla 2.*Sectores que emiten en mayor medida CO2 y GEI en Colombia 1996-2016*

Sector económico	Porcentaje (%) de emisiones de CO2 Y GEI	Aumento porcentual (%) de emisiones gaseosas en los últimos 20 años.
Sector Forestal	36%	-
Sector Agropecuario	26%	-
Sector Transporte	11%	53% de 18 a 28 Millones de toneladas.
Sector Industrial y manufactura	11%	94% de 14 a 28 Millones de toneladas.
Sector de Minas y energía	10%	85% de 14 a 25 Millones de toneladas.

Fuente. Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero Colombia. (IDEAM)
Elaboración Propia

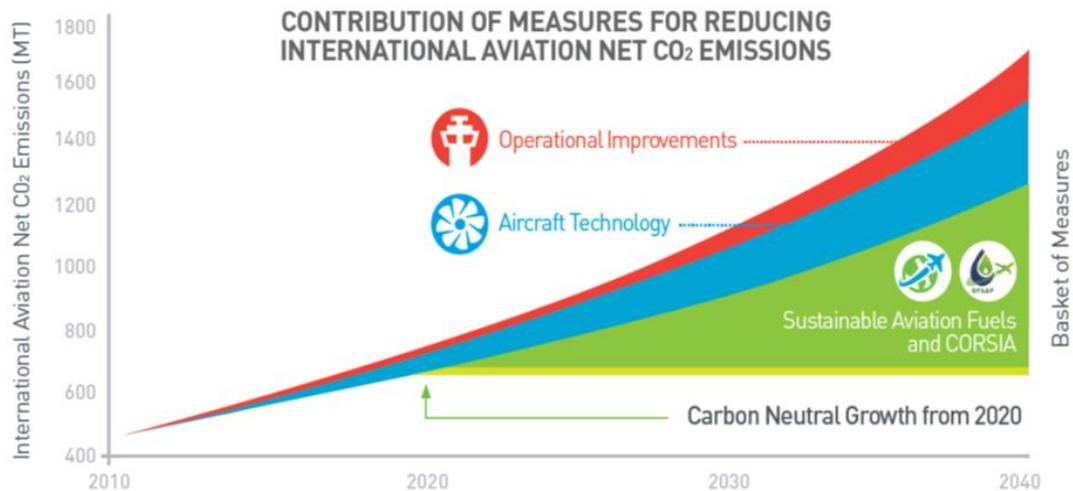
La tabla No. 2 es el complemento de la anterior, en ella es posible observar que si bien el sector transporte no es el que más emisiones de CO2 y Gases de Efecto Invernadero (GEI) envía a la atmósfera, si es uno de los más relevantes sobre todo cuando se trata de la emisión de las aeronaves, debido a que por el combustible, la distancias recorrida y la propulsión, entre otros. Es mucho más contaminante que otros medios de transporte tales como los terrestres y los ferroviarios.

Es por esto que en Octubre de 2016 la OACI en consecución con sus asociados establecieron un plan de compensación y reducción de carbono para la aviación

internacional denominado (CORSIA), que permitirá compartir un objetivo en la industria que se enfoque en un crecimiento neutro de CO₂. Haciendo que a largo plazo se reduzcan las emisiones gaseosas en un 50% para 2050.

Ilustración 1.

Contribución de las medidas para reducir las emisiones netas de CO₂ de la aviación internacional.



Fuente: OACI.

5. Objetivos

Objetivo general:

Demostrar la incidencia del transporte aéreo internacional de pasajeros y carga en la proyección de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en Colombia durante el periodo comprendido entre 1992-2019 y su alcance en el ODS No. 13 Acción por el Clima.

Objetivos específicos:

1. Analizar el comportamiento del sector de transporte aéreo internacional de pasajeros y carga en Colombia desde 1992 a 2019, con el fin de relacionar esta conducta con la proyección de las emisiones de CO₂.

2. Elaborar un modelo de proyección para las emisiones de contaminación de CO₂ en los próximos 15 años teniendo en cuenta las tasas de crecimiento del sector, comparando sus resultados con las metas del plan CORSIA.
3. Construir un modelo de regresión en donde se pueda analizar la correlación de los factores de emisiones de gas de efecto invernadero, la participación de las energías renovables en el consumo bruto de energía final por sector y la contaminación del aire y la población expuesta, de acuerdo a las metas del objetivo de desarrollo sostenible No. 13.

6. Marco Referencial

El Protocolo de Kioto fue un acuerdo de sostenibilidad que se creó a partir del impacto generado por las actividades humanas en el ambiente. Este compromiso internacional fue el resultado de un esfuerzo colectivo que pretendía generar estrategias de mitigación en el impacto climático. Este pacto se llevó a cabo con la participación de treinta y siete países desarrollados (industrializados) y la Unión Europea, quienes tuvieron como objetivo general la limitación y/o reducción del 5% en las emisiones de gases que incrementan el efecto invernadero (GEI/GHG), según la base 1990. Dentro de este anexo pretenden reducir las emisiones de gases que no son controlados y que son producidos por los combustibles del transporte aéreo y marítimo internacional (Naciones Unidas, 1998).

Por lo tanto, este protocolo incentiva a los gobiernos a nivel mundial a establecer leyes y políticas que les permitan cumplir con los acuerdos pactados en la asamblea, de tal manera que tanto los agentes públicos como los privados mitiguen su impacto gaseoso.

Este documento fue considerado como primer paso importante hacia un régimen verdaderamente mundial de reducción y estabilización de las emisiones de GEI.

Así mismo se destaca el avance del London Airport Gatwick, el cuál es el primer aeropuerto del mundo en eliminar desechos para convertirlos en energía y alcanzar una tasa de reciclaje de aproximadamente 85%. Esto debido a los altos costes que implican estos residuos en la operación aérea.² Este aeropuerto que ha sido pionero en reducción de emisiones de CO2 y sostenibilidad en general, durante 2010 las autoridades de Gatwick crearon un plan de sostenibilidad de 10 puntos: 10 problemas y 10 años para lograrlo.

Esta estrategia fue llamada La Década del Cambio, en este plan se contemplan puntos focales tales como, comunidad, economía, carbono, calidad del aire, ruido, transporte, energía, residuos, agua y biodiversidad. Exponiendo la meta del punto 3. Carbono: Reducir las emisiones de carbono en un 50% (CO2 total conocido en una línea de base de 1990 frente a las emisiones de alcance 1 y 2 de 2020). El 25% de nuestra energía procederá de fuentes renovables³.

También se debe hacer referencia a los Objetivos de Desarrollo Sostenible del nuevo milenio, un conjunto de estrategias mundiales que buscan reducir la pobreza, la desigualdad y el impacto climático. Este acuerdo se hizo bajo el amparo de Las Naciones Unidas (2015) y tiene como propósito erradicar cumplir la Agenda 2030, para hacer del mundo un lugar más próspero y sostenible.

² Los desechos que pretenden utilizar corresponden a la categoría 1, la cual representa la mayoría de los residuos de vuelos fuera de la Unión Europea y se define como residuos de alimentos o cualquier cosa mezclada con ellos, como envases, vasos, bandejas de comida, de los vehículos de transporte internacional .

En otros beneficios de esta estrategia ambiental se incluyen la reducción de emisiones de CO2 en aproximadamente el 50% de los viajes en los camiones que sacaban los residuos del terminal aéreo. También se rescata el hecho de generar energía a partir de caldera de biomasa, de una utilización más consiente del agua que permite ahorrar al año aproximadamente 2 millones de litro, entre muchos otros ventajas.

³ SOSTENIBILIDAD: NUESTRO PLAN DE 10 PUNTOS. <https://www.gatwickairport.com/business-community/community-sustainability/sustainability/sustainability-our-10-point-plan/>

Esta iniciativa se conforma por diecisiete Objetivos con los cuales se busca acabar con la pobreza extrema, garantizar que todos los niños y niñas reciban una educación de calidad, lograr oportunidades para todos sin importar género y condición, promover prácticas más conscientes en producción y en consumo con el fin de que el planeta sea más sostenible en 2030.

De acuerdo al Plan de Compensación en Carbono (CORSIA, 2016), la reducción de emisiones se lleva a cabo en tres fases de implantación para lograr la reducción de CO₂ mediante la compra y cancelación de unidades de emisión del mercado mundial del carbono por los explotadores de aviones. Así mismo, este Plan puede contribuir a la consecución de las metas mundiales de: tecnología y normas relativas a las aeronaves, perfeccionamiento de la gestión del tránsito aéreo y mejoras operacionales y el desarrollo y utilización de combustibles aeronáuticos sostenibles. También se debe mencionar que el Plan contribuye en 14 de los 17 ODS de las Naciones Unidas, lo cual aporta y beneficia no solamente al sector aeronáutico sino al desarrollo de todas las economías.

El cálculo de los requisitos para la compensación de CO₂ se pretende realizar mediante la siguiente estructura: Emisiones anuales del explotador X Factor de crecimiento = Requisitos de compensación de CO₂⁴.

7. Marco Teórico

7.1 Teoría Económica

El interés de la teoría económica en términos de conciencia ambiental y el problema de la sobreexplotación de los recursos naturales ha tomado relevancia a partir de los años

⁴ CORSIA Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional. Plan de Implantación. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/CorsiaBrochure_8Panels-SPA-Web.pdf

setenta, pues antes de esto el pensamiento económico centraban su mirada en el desarrollo a gran escala. Tal es el caso de la escuela de pensamiento fisiócrata en la economía europea del siglo XVIII, quien asumía que la tierra generaba riqueza y que la única actividad productiva era la agricultura.

Por su parte Bentham en su teoría del utilitarismo insta que, las acciones que promueven la felicidad de aquellas personas implicadas directa o indirectamente son buenas acciones, es decir, el utilitarismo busca identificar el bien con el resultado de una acción. Según la teoría de Jeremy Bentham (1748):

El principio de utilidad (...), es aquel principio que aprueba o reprueba toda acción de acuerdo con la tendencia en que parece aumentar la felicidad del involucrado cuyo interés está en cuestión. O lo que es lo mismo, lo que promueve o se opone a esa felicidad. Y digo toda acción cualquiera, no solo de un individuo privado, sino también toda acción de gobierno. (P. 13)

Por lo tanto, la base moral del utilitarismo es el principio de utilidad que busca alcanzar ‘la mayor felicidad para el mayor número de personas’. Al ser una ética consecuencialista, esta teoría pretende alcanzar fines para el mañana y no compensar injusticias del ayer.

En contra posición a los postulados fisiócratas, Linneo y Humboldt (1758) reconocían que, aunque el hombre domine sobre el orden natural y cree una relación con los mercados, pertenece al mismo y se debe someter a las leyes de la naturaleza. De esa forma, la economía humana tiene la posibilidad de desarrollarse y enriquecerse, pero debe regir su comportamiento teniendo en cuenta la economía natural.

Años después, durante el siglo XIX la visión clásica de John Stuart Mill aportó a la preocupación por la naturaleza, haciendo una de las primeras aproximaciones sobre el uso indiscriminado de los recursos naturales.

Mill (1848) mencionó y analizó en su teoría de los defectos del mercado, los problemas que causa la intervención del estado en la economía, identificando tres tipos de fallos (externalidades): efectos externos, rendimientos crecientes y falta de información, basados en las tres condiciones necesarias para la existencia de competencia perfecta: perfecta discriminación de bienes, perfecta divisibilidad de factores y perfecta información⁵.

Como lo describe Mill en (1859), “Si la tierra tiene que perder la mayor parte de sus atractivos, extirpados por el crecimiento ilimitado de la riqueza y de la población, y por el mero propósito de permitir un mayor tamaño de la población, pero no más feliz ni mejor, espero, sinceramente, por el bien de la posteridad, que nos contentemos con el estado estacionario, mucho antes de que la necesidad nos fuerce a él” (pág. 169).

Entonces, desde la postulación de Mill se argumentó que un cambio en las tecnologías de las industrias podría contrarrestar, en gran medida el crecimiento económico continuado y desmedido, el cual tendría efectos negativos para el medio natural.

Si bien es cierto que en los postulados de Mill se mencionaba dentro del mercado un proceso ajeno que determinaba en cierta medida los resultados del mismo, es Alfred Marshall (1890) quien conceptualiza el término de externalidad, en su obra *Principles of Economics* abordó el tema de las externalidades positivas en la producción, mostrando dos

⁵ El principio de la población en los economistas clásicos ingleses de Malthus a John Stuart Mill.

tipos de economías: las economías internas, las cuales solo dependen de sus propios recursos e innovación y las economías externas, las cuales se desarrollan a través de la innovación de la industria.

Así mismo, el marxismo fundamentalmente desde la explicación de la teoría del valor del trabajo y su efecto en la primera mitad del siglo XX, busca explicar la injusticia del sistema capitalista. Considerando así, que el resultado de la explotación incontrolada de la naturaleza causará un desenfreno en el medio natural que entre otras razones, llevará al fracaso del capitalismo.

Por su parte, Pareto (1906) menciona que el óptimo bienestar se obtiene cuando puede aumentar su utilidad sin afectar el bienestar del otro. Esto puede caracterizarse actualmente como un primer postulado de sostenibilidad, ya que se establece hasta qué punto una persona puede utilizar los recursos sin comprometer los de las generaciones futuras.

De igual forma Arthur Pigou (1920) publica en su obra Economía del bienestar, la noción de “efectos externos” como aquella “situación en la que, por mal funcionamiento del mercado, los costes sociales son mayores que los costes del productor, o los beneficios sociales son menores que los beneficios del productor” (Cap. I).

Según la teoría de Pigou los costos que genera el sector transporte en las economías, estos son de tres tipos: costes del productor, de los usuarios y los externos. La discusión más frecuente es sobre quiénes y cómo se deben pagar estos costes, unos aseguran que la mejor opción es internalizarlos para que se vuelva más atractivo el ejercicio derivado del

sector, por otro lado unos argumentan que lo mejor para solucionar el problema de los costos es que los contribuyentes sean los que asuman este valor.

Sin embargo, se puede observar que los costes externos, son relativamente sencillos de internalizar si se consigue la forma correcta de medirlos, una de estas herramientas son los impuestos y/o compensaciones que tienen que hacer las aerolíneas de la industria para poder mitigar el impacto de las externalidades y los problemas causados por sus operaciones. Igualmente se debe mencionar que los costes de los usuarios también son internalizados en términos de salud pública y de afectación a la capa atmosférica que sirve a todos los agentes.

En teorías más recientes, la perspectiva que fundamenta Stiglitz (2000) menciona que:

Siempre que una persona o una empresa emprende una acción que produce un efecto en otra persona o en otra empresa por el que esta última no paga ni es pagada, decimos que hay una externalidad. (pág. 248)

Con esta intención se proponen dos tipos de soluciones públicas basadas en el mercado: impuestos y subvenciones, imposiciones mencionadas anteriormente en la teoría de Pigou y la segunda, establecer topes de contaminación. (Stiglitz, 2000)

7.2 Estado del arte

En este apartado se busca analizar la literatura relacionada o los antecedentes que se ha escrito acerca del objeto de estudio que en este caso sería el transporte aéreo, la emisión de CO₂ y el cumplimiento de las metas graduales del ODS No. 13, en este capítulo se obtendrá la información relevante, las perspectivas que se abordaron y la conclusión a la

cual se llegó. También van a estar organizados por dos criterios, el primero es el origen del antecedente, es decir, si es nacional o es extranjero y el segundo es la fecha de publicación, es decir, del más antiguo al más reciente. Esto con el fin de hacer una revisión de literatura más rigurosa.

Quiroga (2007) realizó un documento que presenta las principales iniciativas de diseño e implementación de indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en el mundo, con énfasis en América Latina y el Caribe. Allí se describen paso a paso el cálculo y el desarrollo de aquellos índices que demuestran el comportamiento de las iniciativas ambientales, rescatando del mismo la participación de Colombia dentro de los esfuerzos por desarrollar sistemas amigables con el ambiente.

Duque y Sarmiento (2008) elaboraron un trabajo que buscaba diseñar un programa de gestión y seguridad operacional para la aviación colombiana atendiendo a las necesidades del sector, en cuanto a la metodología se puede rescatar que fue un trabajo empírico-analítico basado en la recolección de información de los trabajadores del sector de aviación civil y como resultados pudieron cumplir con el objetivo inicial y aplicaron su diseño de gestión y seguridad operacional en el Aeropuerto el Dorado en Bogotá - Colombia.

Araque (2010) proporcionó un trabajo sobre el impacto de la aviación sobre el medio ambiente en el cual se desarrolla la idea de que la aviación ha sido uno de los sectores productivos que ha contribuido al cambio climático en un 2.2% en el aumento de las emisiones de CO₂ actuales. En el documento se tratan temas como el crecimiento de tráfico aéreo y su incidencia en el medio ambiente, los cambios climáticos en la sociedad, las consecuencias de las aeronaves en el medio ambiente, los aportes de los fabricantes y finalmente las acciones de la comunidad internacional y de las entidades nacionales, con el fin de cumplir los objetivos el autor desarrolló una metodología de análisis del

comportamiento de pasajeros en Colombia y el comportamiento de los gases emitidos a la atmósfera y finalmente concluyó que si bien el sector de la aviación es un contribuyente ante el calentamiento global, este ha minimizado sus impactos, ya que ha desarrollado diseños más eficientes en sus aeronaves, a través de la creación de aparatos más ligeros, materiales compuestos y con el uso de biocombustibles óptimos para su operación. Por lo tanto, los tres ejes objeto de su investigación son, la reducción de emisiones, la optimización de energía y la disminución del ruido, en cumplimiento de las normativas establecidas por la comunidad internacional, con la finalidad de detener el acelerado crecimiento de los gases de efecto invernadero (GEI).

Así mismo Hidalgo (2012) plantea un trabajo direccionado a la huella de carbono que aporta la aviación comercial regular en Colombia, haciendo un estudio de caso para las aeronaves de turboreactores. Este documento se realizó con el fin de establecer la contaminación de gases de efecto invernadero en la operación aérea regular, debido a que en Colombia se han planteado muy pocas estrategias para lograr cumplir con los objetivos de sostenibilidad y protección del medio ambiente.

Este trabajo tuvo como meta evaluar la información ambiental de dos aeronaves turboreactores tomadas como caso de estudio (Airbus A320 y Boeing B727), los resultados que se encontraron fueron que las aeronaves pasan por cuatro procesos de mantenimiento durante sus operaciones: revisión de rutina corta, revisión de rutina media, servicio tipo A y servicio tipo C. Para la aeronave Airbus A320 se encontró que en promedio su revisión de rutina corta es cada 36 horas, la revisión de rutina media cada 8 días, el servicio tipo A cada 4 meses y el servicio tipo C cada 6000 horas de vuelo. Esto con el fin de obtener qué para la aeronave Boeing B727 su revisión de rutina corta se realiza

cada 48 horas, la revisión de rutina media cada 10 días, el servicio tipo A cada 2 meses y el servicio tipo C cada 6500 horas de vuelo⁶.

Finalmente y después de las dificultades para conseguir los datos de transporte de todas las partes hacia el ensamble, se asumió que el transporte aéreo es el medio empleado y se sumaron como emisiones relacionadas al transporte terrestre aquellas que se encuentran en el mismo país del ensamble. También se encontró que la distancia total promedio recorrida para llevar las partes por parte de Airbus fue de 50.444,36 km, mientras que para Boeing fue de 59.813,1 km y que las emisiones para Airbus fueron de 787.76 gCO₂ por pasajero, mientras que de Boeing fueron de 934,07 gCO₂ por pasajero, encontrándose que las emisiones para Boeing son mayores a las de Airbus en un 18,57%.⁷

Por su parte Ortegón (2015) proporcionó un trabajo sobre los GEI producidos por el transporte masivo en Bogotá, este trabajo plantea un análisis sobre el consumo energético de transporte y el uso de combustibles que emiten tipos de gases de efecto invernadero, el carbono (CO₂), metano (NH₄), óxidos de nitrógeno (NXOY) y monóxido de carbono (CO). La metodología se soporta en los determinantes de los contaminantes en el transporte masivo y en una proyección con una línea de tendencia soportada de diferentes fuentes y estudios a través del año del 2005 al 2014. Finalmente se concluye que de todos los distintos gases de efecto invernadero emitidos por los vehículos del transporte masivo; el principal contaminante es el monóxido de carbono (CO). El cual oscila entre un 89% a un

⁶ Hidalgo (2012). Estudio de Huella de Carbono que Aporta La Aviación de Pasajeros dentro del Territorio Colombiano. Caso de Estudio: Aeronaves Turborreactores. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2684/HidalgoCarvajalDavidAndres2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁷ Hidalgo (2012). Estudio de Huella de Carbono que Aporta La Aviación de Pasajeros dentro del Territorio Colombiano. Caso de Estudio: Aeronaves Turborreactores. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2684/HidalgoCarvajalDavidAndres2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

93% al año. También se llegó a la conclusión que a mayor velocidad de circulación de vehículos disminuye las emisiones de CO pero por el contrario aumenta las del NOx y CO2 y por último que la temperatura ambiente afecta la velocidad de las emisiones contaminantes del sistema, ya que, es directamente proporcional; porque a mayor temperatura va aumentando el CO.

Según Garriga y Melé (2004) las teorías de la responsabilidad social empresarial pueden ser clasificadas en cuatro grupos. El primero de estos los autores lo denominan teorías instrumentales, las que se enfocan en el logro de objetivos económicos a través de actividades sociales; un segundo grupo lo denominan teorías políticas, las que se centran en el uso responsable del poder empresarial en la arena política; el tercero lo denominan como teorías integradas, las que tienen como objetivo la integración de las demandas sociales y, por último, las teorías éticas, las que abordan cómo hacer las cosas correctas para alcanzar una buena sociedad.

Rodrigo y de Villa (2012) realizaron un análisis que se centra fundamentalmente en la Unión Europea, estados que han adoptado un papel de liderazgo mundial en la adopción de regulaciones ambientales. El documento analizó el impacto ambiental del transporte aéreo y sus medidas de mitigación, argumentando que el crecimiento del transporte aéreo es el mayor de los desafíos del sector y que la huella ambiental puede convertirse en el principal factor limitador.

Allí realizó un diagnóstico de situación a través de unos indicadores y modelos adecuados que midan el impacto ambiental del transporte aéreo, clasificados según (el ruido, la contaminación del aire local, el uso de espacio y el consumo de materiales no renovables). La gestión para mitigar la marca generada en el aire se debe a medidas de reducción técnicas que involucren (acuerdos voluntarios entre administración, operadores y

consumidores, o cualquier combinación de ellos, impuestos y tasas, comercio de emisiones).

Torres (2013) proporcionó un trabajo que analizaba el nuevo régimen jurídico del mercado europeo de derechos de emisión de gases de efecto invernadero aplicable al sector de la aviación determinado por las Directivas 2008/101/CE y 2009/29/CE así como por la Ley 13/2010. En este trabajo se rescata el modelo europeo, en donde se señala, como actuación prioritaria, la reducción de las emisiones en el sector del transporte.

Giménez (2016) elaboró un trabajo sobre la disminución de las emisiones de CO₂ del sector aerocomercial y su viabilidad de cara al futuro. Este documento tiene como finalidad la concientización de la realidad ambiental y del desarrollo de actividades sostenibles en el sector de la aviación comercial, tratando de optimizar la industria para hacerla menos nociva y más eficiente.

Así mismo en esa investigación se hizo especial seguimiento al trabajo de la OACI durante los últimos años, en pro de analizar el alcance de las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a escala mundial y se pudo concluir que existe un compromiso moral de preservar el planeta para las generaciones venideras y que el nuevo plan de medidas de mercado para la aviación (CORSIA) puede ser el camino para mitigar la afectación continua del medio ambiente.

Por su parte Soler, et. al (2018) proporcionaron un trabajo en el cual se muestran los modelos que evalúan la sostenibilidad en las organizaciones. En primera instancia se menciona El Modelo del Centro Lowell para la producción sostenible propuesto por la Universidad de Massachusetts (1999), este modelo centra su enfoque en aspectos ambientales, de seguridad y salud de la producción, basado en cinco niveles del desarrollo sostenible, el siguiente modelo utilizado para este análisis es El Cuadro de Mando Integral

Sostenible, este se basa en la herramienta cuadro de mando integral (CMI), que fue desarrollado por Kaplan & Norton (1992). Este modelo permite vincular la estrategia de una organización con el sistema de medición a través de las relaciones causa-efecto de los objetivos, incorporando indicadores no financieros. En tercer lugar se encuentra El Modelo Ambiente-Social-Gobernanza que fue lanzado por la ONU (2006) y en este se hace una evaluación de las inversiones de los negocios sobre la base de criterios ambientales, sociales y de gobernanza el cual es empleado en varios contextos, tales como la evaluación de riesgos, en la inversión responsable, en los reportes de responsabilidad empresarial y en la evaluación de la sostenibilidad de los negocios, entre otros. Finalmente, El modelo El Cubrix fue desarrollado por Marrewijk (2010) y es la actualización de un modelo anterior, El Cubrix se basa en el enfoque de desarrollo en etapas de un núcleo de áreas de atención, tales como: integridad y liderazgo, estrategia, la toma de decisiones, la gestión de personas, el aprendizaje y la innovación, la gestión de los recursos, y la gestión por procesos.

Por último, el trabajo propuso una nueva clasificación de los mismos modelos teniendo en cuenta sus similitudes, permitiendo que dentro de la clasificación de los modelos se identifiquen tres características claves del concepto de sostenibilidad empresarial: su carácter multidimensional, la relación causa-efecto entre los elementos que lo componen y la necesidad de desarrollo en etapas para alcanzarlo.

Lorenzo (2020) desarrolló un trabajo sobre La Agenda 2030 y el plan de acción adoptado por el gobierno de la Unión Europea, este trabajo busca representar la situación de cada país miembro en materia de sostenibilidad en los años 2010 y 2017 con la elaboración de un indicador sintético. Para la metodología se desarrolló entorno a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) el análisis de 66 variables e indicadores relacionados con su característica multidimensional, con el fin de cuantificar los avances

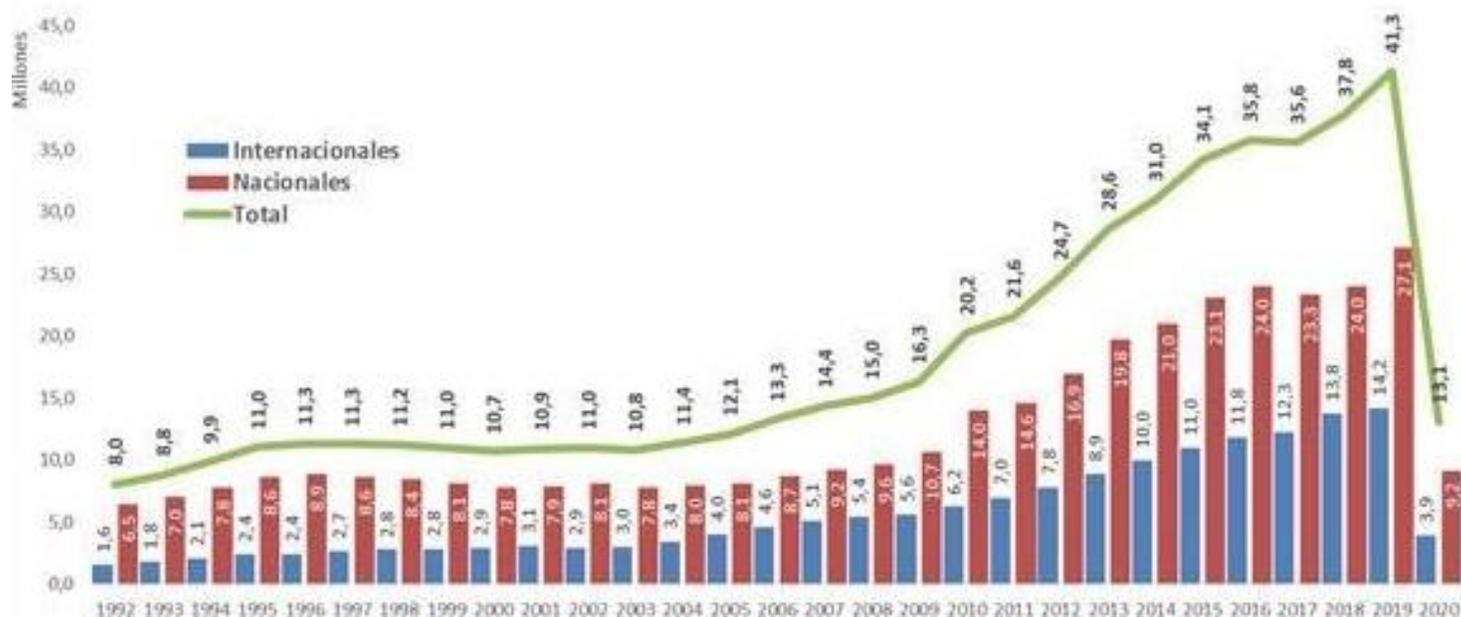
sociales, económicos y ambientales en el área objeto de estudio y evaluar con ello el cumplimiento de las metas propuestas y se propone la agregación de 17 indicadores vinculados a cada uno de los ODS, que a su vez se combinan para crear un único indicador de desarrollo sostenible.

8. Descripción del sector

Una vez estudiados los aportes más pertinentes para la actual investigación es importante realizar una descripción de sector aeronáutico con el fin de entender mejor el objeto de estudio del presente documento. En los últimos 29 años la evolución en la movilización de pasajeros ha mantenido una tendencia creciente, solamente para el año 1999 debido a una crisis en la economía colombiana se presentó una baja en el total de pasajeros y desde allí siguió en crecimiento, la aviación civil movilizó 41.300.410 pasajeros para el año 2019, es decir, se incrementó en 9.2% con respecto al año inmediatamente anterior. Sin embargo Para el 2020, se presentó una caída del 68.3%, llegando a transportar 13.080.808 personas, esto por causas sanitarias (Covid-19) y económicas.

Ilustración 2.

Movimiento Anual de Pasajeros - Tráfico de pasajeros (1992-2020)



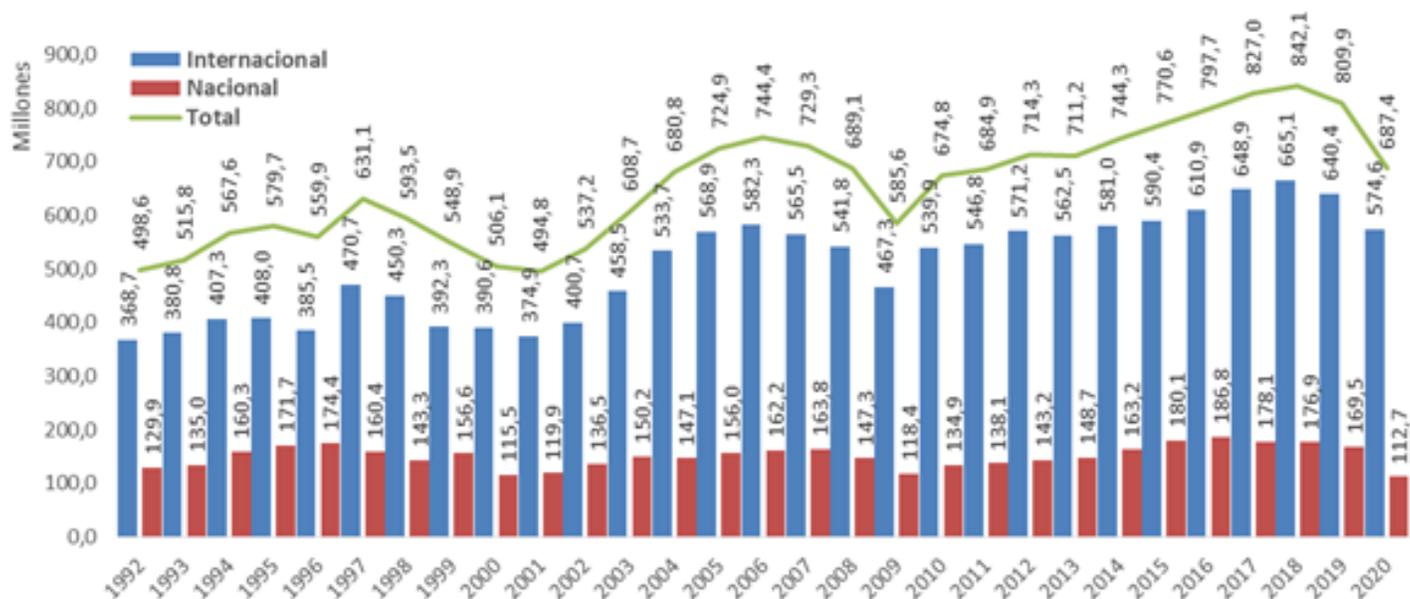
Fuente: Aerocivil - Grupo Estudios Sectoriales

En cuanto a carga aérea el comportamiento ha variado en varias oportunidades, durante el 2019 por aire se transportaron 809.927 toneladas y en el 2020 se movilizaron 687.359 toneladas, presentando una disminución de 122.568 toneladas de carga. Así mismo se evidencia que la carga internacional representa, alrededor, del 80% del total de la carga transportada. Para el 2019, este servicio presentaba una caída del 3.8% comparada con el 2018 y el impacto de la pandemia conllevó a una disminución del 15.1%, en el 2020⁸.

⁸ Aerocivil. Oficina de Transporte Aéreo. Análisis del comportamiento de la Industria Aeronáutica en Colombia. 2021.

Ilustración 3.

Movimiento Anual de Pasajeros - Tráfico de pasajeros (1992-2020)

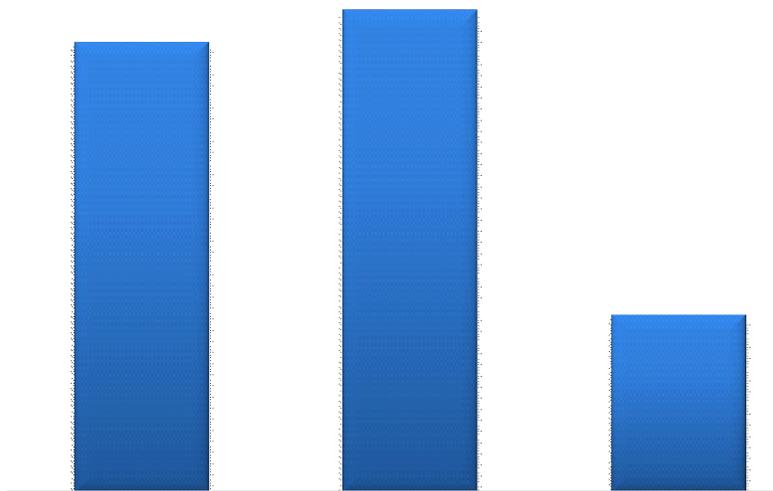


Fuente: Aerocivil - Grupo Estudios Sectoriales

En cuanto a los servicios aeroportuarios el comportamiento fue positivo de 2018 a 2019, sin embargo el año 2020 se vio afectado por la disminución en el tráfico de pasajeros tanto a nivel nacional como internacional.

Ilustración 4.

Movimiento Anual de Pasajeros - Tráfico de pasajeros (2018-2020)



Fuente: Aerocivil - Grupo Estudios Sectoriales

Las aerolíneas con permiso de vuelo internacional que pueden operar por fuera de los límites aéreos colombianos son:

- Aerovías del Continente Americano S.A (Grupo Avianca y subsidiarias)
- AeroRepublica S.A (Copa Airlines Colombia)
- Fast Colombia S.A.S (Viva Air Colombia)
- Líneas Aéreas Suramericanas S.A (Aerolínea de carga)
- Aerovías de Integración Regional S.A (LATAM)
- Línea Carguera de Colombia S.A (LATAM Carga)

9. Metodología

Para determinar la incidencia del transporte aéreo internacional de pasajeros y carga en la proyección de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en Colombia y el

alcance en el ODS No. 13, la presente investigación se realiza mediante la recolección de datos suministrados por La Aeronáutica Civil de Colombia.

Inicialmente se utilizaron las estadísticas históricas del transporte aéreo internacional regular en Colombia desde 1992 hasta el 2019* (proyectado). Con el fin de observar las cifras totales de pasajeros y las cifras totales en toneladas para carga y correo para cada país y continente tanto de origen como de destino en los últimos 27 años para observar si un aumento en el comportamiento de la movilización internacional de pasajeros influye también proyecciones de emisiones de CO₂.

En una segunda fase se pretende elaborar un modelo de proyección para las emisiones de contaminación de CO₂ en los próximos 15 años teniendo en cuenta las tasas de crecimiento del sector aeronáutico desde 1992 hasta el 2016, obtenidos del cálculo de emisiones del Banco Mundial y del CERT⁹, teniendo en cuenta los tipos de aeronaves comerciales de vuelo internacional y el total de combustible en una distancia específica, comparando sus resultados con las metas del Plan de compensación y reducción CORSIA para los vuelos internacionales, con el fin de analizar si las proyecciones se acomodan a las metas establecidas por la OACI para la reducción de las emisiones de CO₂ para 2035.

Este modelo se elaboró a partir de una proyección por Mínimos Cuadrados Ordinarios, en donde la variable explicativa del modelo son las tasas de crecimiento del sector y las variables explicadas son los periodos de la proyección con el fin de establecer relaciones entre estas.

Finalmente para la tercera fase se construirá un modelo de regresión lineal múltiple en donde se pueda analizar la correlación de los factores determinantes en el

⁹ Cálculo CERT. CORSIA Workshop. Bogota D.C (2018)

cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 Acción por el Clima, los cuales son: Las emisiones de gas de efecto invernadero como variable dependiente y como variables independientes, la participación de las energías renovables en el consumo bruto de energía final por sector, las emisiones de metano en el sector de energía (miles de toneladas métricas de equivalente de CO₂) y las emisiones agrícolas de óxido nitroso (miles de toneladas métricas de equivalente de CO₂).

Estas variables se abordaron a partir de un acoplamiento empírico de los temas transversales del ODS No. 13 y fueron extraídos de la reserva de estadísticas del Banco Mundial y del Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, ajustados a un mismo periodo de tiempo, con el fin de analizar si su comportamiento va direccionado a las metas que Colombia tiene para dicho objetivo.

10. Descripción de la metodología

10.1 Metodología Fase II

Tabla No. 3.

Proyección por Mínimos Cuadrados Ordinarios.

Año	Periodo estimado	Tasa de crecimiento del sector	(Periodo*Tasa de crecimiento del sector)	(Periodo*Periodo)	(Tasa de crecimiento del sector)*(Tasa de crecimiento del sector)
	x	y	x*y	x ²	y ²
1992	1	62.049	62.049	1	3.850.116.499
1993	2	64.022	128.044	4	4.098.836.075
1994	3	67.572	202.715	9	4.565.949.372
1995	4	59.614	238.458	16	3.553.878.953
1996	5	60.528	302.638	25	3.663.578.498
1997	6	64.910	389.457	36	4.213.251.888
1998	7	65.977	461.837	49	4.352.920.193
1999	8	56.512	452.097	64	3.193.621.628
2000	9	57.924	521.315	81	3.355.181.898
2001	10	56.274	562.738	100	3.166.738.541

2002	11	55.661	612.275	121	3.098.190.671
2003	12	57.422	689.059	144	3.297.234.749
2004	13	55.071	715.923	169	3.032.815.702
2005	14	60.946	853.238	196	3.714.358.846
2006	15	62.940	944.106	225	3.961.492.442
2007	16	62.431	998.891	256	3.897.589.181
2008	17	68.089	1.157.511	289	4.636.092.311
2009	18	73.289	1.319.196	324	5.371.227.978
2010	19	77.040	1.463.760	361	5.935.162.062
2011	20	76.926	1.538.527	400	5.917.659.632
2012	21	80.186	1.683.912	441	6.429.840.944
2013	22	92.735	2.040.165	484	8.599.736.269
2014	23	86.681	1.993.653	529	7.513.517.055
2015	24	94.110	2.258.637	576	8.856.671.019
2016	25	97.814	2.445.339	625	9.567.492.129
Σ	325	1.716.721	24.035.539	5.525	121.843.154.533

Elaboración propia

ESTIMACIÓN DE PROYECCIÓN POR MINIMOS CUADRADOS ORDINARIOS

a_0	$\frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum xy}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$	$a_0 =$	$\frac{1.673.331.949}{32.500}$	$a_0 =$	51487,14
-------	--	---------	--------------------------------	---------	-----------------

a_1	$\frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$	$a_1 =$	$\frac{42.954.230}{32.500}$	$a_1 =$	1321,6686
-------	---	---------	-----------------------------	---------	------------------

Fuente: Ecuaciones de MCO¹⁰

Elaboración propia

¹⁰ Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios.

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/mercado_g_ja/apendiceC.pdf

Tabla No. 4.

Proyección de las emisiones CO2 producidas hasta 2035.

PROYECCIÓN	Fórmula: $y = 51487,14 + 1321,6686x$			
	PERIODO PROYECTADO		PROYECCIÓN DE LAS EMISIONES	
2017	x =	26	y =	85.851
2018	x =	27	y =	87.172
2019	x =	28	y =	88.494
2020	x =	29	y =	89.816
2021	x =	30	y =	91.137
2022	x =	31	y =	92.459
2023	x =	32	y =	93.781
2024	x =	33	y =	95.102
2025	x =	34	y =	96.424
2026	x =	35	y =	97.746
2027	x =	36	y =	99.067
2028	x =	37	y =	100.389
2029	x =	38	y =	101.711
2030	x =	39	y =	103.032
2031	x =	40	y =	104.354
2032	x =	41	y =	105.676
2033	x =	42	y =	106.997
2034	x =	43	y =	108.319
2035	x =	44	y =	109.641

Elaboración propia

10.2 Metodología Fase III

Estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO):

Modelo de regresión lineal múltiple.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon$$

Donde:

$y \rightarrow$ Es la variable dependiente (Tasas de crecimiento del sector)

x_1, x_2, \dots, x_k

\rightarrow Son las variables independientes (períodos estimados para las emisiones de CO2)

$\beta_0, \beta_1 \rightarrow$ Son $K = (k + 1)$ (Coeficientes del modelo)

$\varepsilon \rightarrow$ Es el término error o perturbación

Tabla No. 5.
Variables del Modelo Lineal Múltiple.

Periodo	Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO2)	Consumo Final de Energía - Aviación Internacional	Emisiones de metano en el sector de energía (miles de toneladas métricas de equivalente de CO2)	Emisiones agrícolas de óxido nítrico (miles de toneladas métricas de equivalente de CO2)
1992	178.474	1.624	6.982,80	16.137,60
1993	188.779	1.716	7.104,16	16.549,77
1994	170.316	1.965	7.125,89	16.409,86
1995	179.102	2.080	7.970,32	16.518,77
1996	183.443	2.194	8.378,21	16.737,01
1997	188.062	2.370	9.065,27	16.818,52
1998	165.332	2.501	9.988,90	17.031,09
1999	149.561	2.587	9.857,48	16.037,10
2000	164.520	2.780	10.735,23	17.126,51
2001	153.809	2.831	10.646,50	16.942,36
2002	148.234	2.723	10.934,58	17.223,01
2003	162.981	2.857	11.002,84	17.801,08
2004	174.609	3.167	10.876,99	18.106,11
2005	150.618	3.178	11.146,01	18.309,65
2006	151.547	3.313	11.432,32	19.064,91
2007	177.034	3.484	11.658,16	19.869,20
2008	167.450	3.497	12.094,32	20.339,64
2009	171.912	3.253	12.756,81	19.489,18
2010	166.696	3.122	13.050,13	19.777,43
2011	170.200	3.737	13.302,05	20.117,15
2012	173.412	3.692	13.485,11	20.446,05

Fuente: Banco Mundial – Min Ambiente¹¹
Elaboración propia

11. Análisis de resultados

En este apartado se pretende realizar el análisis de los resultados obtenidos en la investigación derivados de cada fase metodológica. Inicialmente la Fase I pretende demostrar cómo ha sido el comportamiento del sector de transporte aéreo internacional

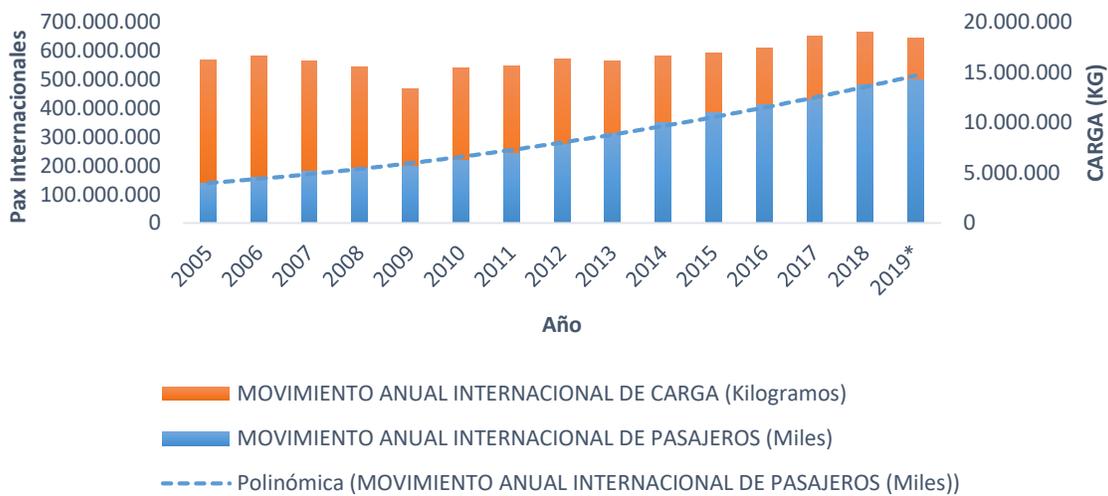
¹¹ Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?locations=CO>
Ministerio de Ambiente – SIAC. <http://www.siac.gov.co/climaticogei>

de pasajeros y carga en los últimos 27 años y así considerar si este comportamiento puede influir en las emisiones de CO2.

En la ilustración 5 se puede observar el crecimiento del sector de transporte aéreo en la movilización internacional de pasajeros y carga regulares, esta tendencia ha sido constante y creciente durante los últimos 15 años (2005-2019). Según el informe de la Aviación en cifras (2019) “Del contexto regional latinoamericano, el mercado colombiano es el tercero después de Brasil y México, presentando en 2016 un crecimiento del 7,2% con relación al tráfico internacional de pasajeros, explicado en gran medida por el buen momento del que goza el sector turístico del país, la inversión y modernización en infraestructura”.

Ilustración 5.

Comportamiento histórico Transporte aéreo internacional regular



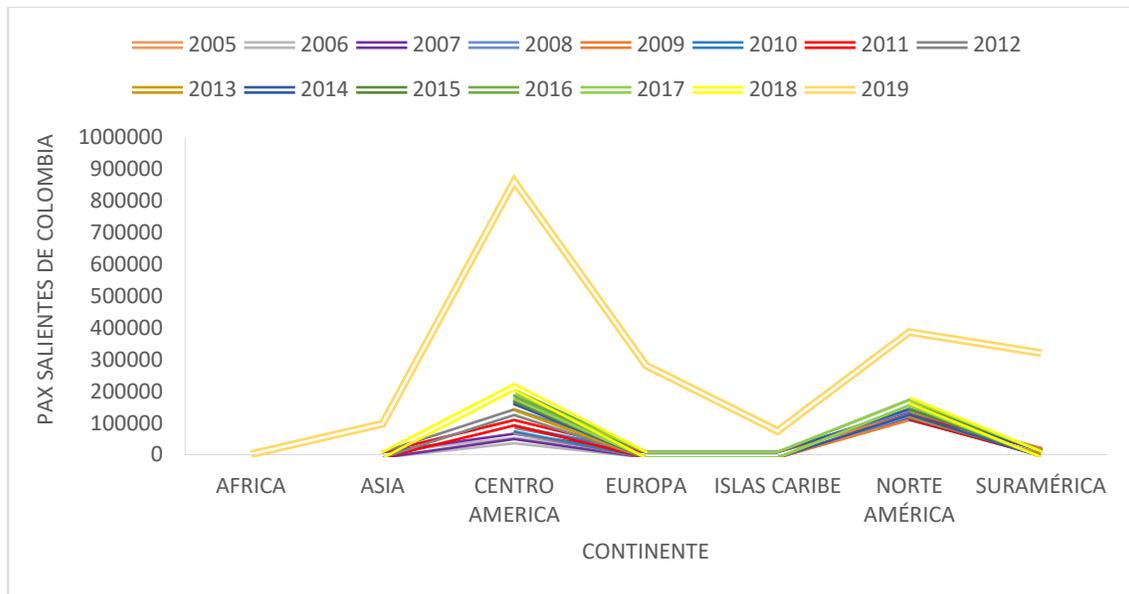
Fuente: Aerocivil
Elaboración propia

Este crecimiento según los postulados de Kotler & Armstrong (2007) se puede deber a los intereses de las personas por hacer viajes internacionales “Características 1)

físicas – relacionadas con la salud física y mental, el entretenimiento, el descanso y la reducción del estrés; 2) psicológicas (o interpersonales) – desarrollo emocional, visita a familiares y amigos, establecimiento de nuevas relaciones; 3) culturales – evolución personal por medio del conocimiento de otras culturas y países o de la ampliación del conocimiento artístico e histórico; y 4) sociales o de prestigio – que permiten que el individuo sea reconocido y apreciado”.

Ilustración 6.

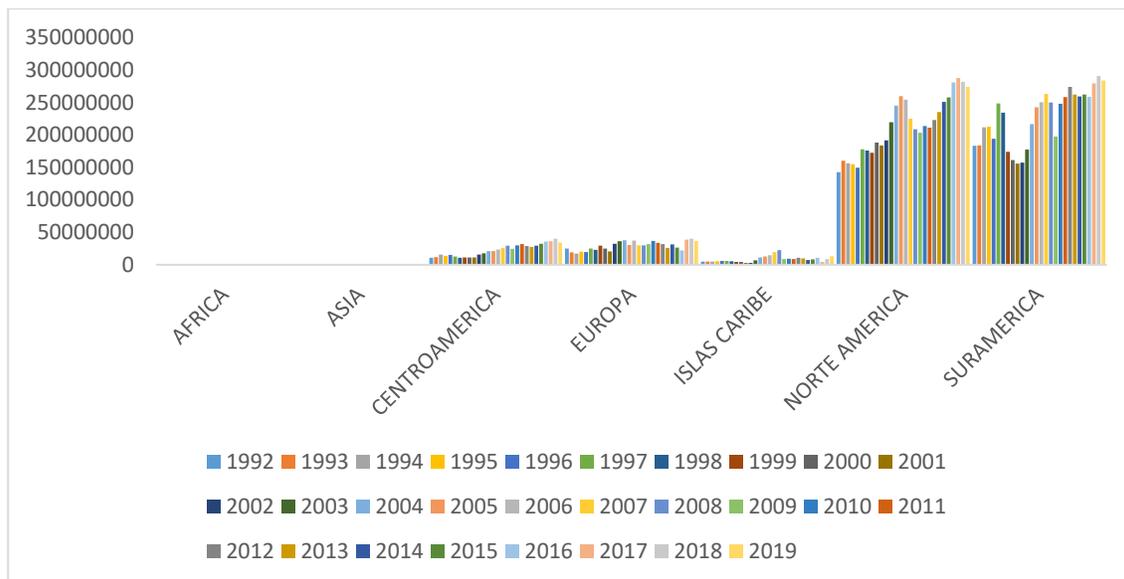
Pasajeros salientes desde Colombia por continentes.



Fuente: Aerocivil
Elaboración propia

Ilustración 7.

Carga Saliente de Colombia por continentes.



Fuente: Aerocivil
Elaboración propia

A su vez, las ilustraciones 6 y 7 muestran cómo ha sido el flujo de pasajeros y carga por continente siendo Centroamérica, Suramérica y Norteamérica los destinos con mayor afluencia.

Este análisis es consecuente con lo mencionado por Días & Cassar (2005) quienes explican otras motivaciones al viajar fuera del país de origen y que son llamadas genéricas, estas son aquellas que se aplican a todos los turistas, los cuales buscan escapar de la rutina diaria, recompensa por el trabajo realizado, un modo de liberación de las convenciones y una contribución al desarrollo de valores espirituales.

En la fase II se pudo analizar que las tasas de crecimiento del sector en términos de emisiones de CO2 se van a aumentar gradualmente hasta el 2035, sin embargo es importante resaltar que el porcentaje creciente de las emisiones desde 2017 hasta el 2035 es mucho más pequeño. Esto quiere decir que el comportamiento de las emisiones de

carbono va a aumentar en el tiempo como lo han venido haciendo los pasajeros y la carga.

Sí bien las emisiones se muestran cada vez más controladas, debido a las tecnologías e innovación del sector.

Tabla 6.

Emisiones de CO2 proyectadas.

Año	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Emisiones	62.049	64.022	67.572	59.614	60.528	64.910	65.977	56.512	57.924	56.274
Año	2002	2003	2004	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Emisiones	55.661	57.422	55.071	68.089	73.289	77.040	76.926	80.186	92.735	86.681
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Emisiones	94.110	97.814	85.851	87.172	88.494	89.816	91.137	92.459	93.781	95.102
Año	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Emisiones	96.424	97.746	99.067	100.38	101.711	103.032	104.354	105.676	106.99	108.319
Año	2035									
Emisiones	109.641									

Fuente: Banco Mundial¹²
Elaboración propia

En la tercera fase metodológica se estableció la relación de los indicadores que interfieren en el desarrollo del Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 Acción por el Clima según las metas orientadoras propuestas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Estos datos difieren de otros índices ambientales como el El Índice de Desarrollo Humano (IDH), El Índice de Desempeño Ambiental, El Índice de Huella Ecológica, El Índice de Bienestar Económico Sostenible (IBES), etc. Debido a que se estructuraron de tal forma que dieran resultados consecuentes únicamente para el ODS No. 13 Acción por el clima.

¹² Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?locations=CO>

Acudiendo a la metodología realizada por Lorenzo (2020) para la medición y el análisis del Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 Acción por el Clima, se deben tener en cuenta: Como variable dependiente Las emisiones de gas de efecto invernadero, las cuales fueron extraídas del Banco Mundial y fueron analizadas a partir de unidades de medida por Kilotones (Kt) de CO₂. Finalmente, se hizo uso de los datos de La participación de las energías renovables en el consumo bruto de energía final por sector y por fuente, las cuales fueron tomadas del Min Ambiente y filtradas por sector: Aviación Internacional y por fuente de energía: Productos Petrolíferos.

Tabla No. 7.
Resumen del modelo lineal múltiple.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,702669736
Coefficiente de determinación R ²	0,493744757
R ² ajustado	0,404405597
Error típico	9505,386675
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	1498033281	499344427	5,526633056	0,007786787
Residuos	17	1535990389	90352375,84		
Total	20	3034023670			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	68918,42342	38149,13123	1,806552894	0,088565905	-11569,20793	149406,0548	-11569,20793	149406,0548
Consumo Final de Energía - Aviación Internacional	-16,78456819	12,54242653	-1,338223362	0,198448933	-43,24677507	9,677638682	-43,24677507	9,677638682
Emisiones de metano en el sector de energía (miles de toneladas métricas de equivalente de CO ₂)	-4,30202775	3,537327001	-1,216180395	0,240534054	-11,76513536	3,16107986	-11,76513536	3,16107986
Emisiones agrícolas de óxido nitroso (miles de toneladas métricas de equivalente de CO ₂)	10,66267041	3,123577125	3,413608815	0,003308861	4,072498731	17,25284209	4,072498731	17,25284209

Fuente: Banco Mundial – Min Ambiente¹³
Elaboración propia

Del modelo presentado en la Tabla No. 7, se debe destacar que la regresión tuvo en cuenta veintiún años de datos (1992-2012), para cada una de las variables de consideración.

¹³ Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?locations=CO>
Ministerio de Ambiente – SIAC. <http://www.siac.gov.co/climaticogei>

Partiendo de allí, se puede observar que el coeficiente de correlación múltiple es del 70%, demostrando la potencia en la relación del modelo, por su parte el coeficiente de determinación R^2 explica en un 49% la relación entre las variables y el R^2 (ajustado) demuestra la concordancia del 40% en los datos.

Entonces se puede observar que la relación entre las emisiones equivalentes a CO₂ y el consumo final de energía derivado de productos petrolíferos no es tan fuerte, por lo que se puede mencionar que el modelo se ajusta medianamente a los datos.

Finalmente se puede demostrar que sí las emisiones de CO₂ aumentan en 1 kilotón, entonces el consumo de energía de la aviación internacional derivada del uso de productos petrolíferos disminuye en 16 kilotoneladas, a su vez las emisiones de gas metano disminuye en -4,30 miles de toneladas métricas equivalente a CO₂, mientras que las emisiones de óxido nitroso aumentan en 10,66 miles de toneladas métricas equivalentes a CO₂.

De lo anterior, cabe resaltar que las emisiones de CO₂ en Colombia medidos por kilotones (kt) no se ven directamente afectadas por el uso de combustibles derivados de los productos petrolíferos que se utilizan para la energía final del sector aéreo.

Además se puede analizar que sí bien la industria va a seguir aumentando sus emisiones en unas tasas moderadas la afectación ambiental no se deriva específicamente del uso de los combustibles de los aviones. En la preocupación de la industria por la sostenibilidad ambiental se han trabajado temas de priorización de objetivos, entre ellos cambiar el uso de combustibles fósiles por biocombustibles extraídos de fuentes naturales y productos agrícolas, razón por la cuál es lógico que el consumo de energía disminuya.

12. Conclusiones

Finalmente este trabajo concluye que la hipótesis planteada al inicio de la investigación se rechazó en la medida en que el sector de transporte aéreo internacional de pasajeros y carga (Consumo de energía final) no influye en las emisiones de CO₂ arrojadas a la atmosfera, esto pudo deberse a que faltaron más variables por tener en cuenta dentro del sector de aviación, ya que la reciprocidad entre las variables del modelo no fueron lo suficientemente determinantes.¹⁴

Sin embargo cabe destacar que este proyecto de investigación obtuvo unos resultados muy interesantes para el sector aéreo, entre ellos se encontró que el sector de transporte aéreo está esperando un comportamiento creciente para la movilización de pasajeros y de carga, lo cual podría responder a la necesidad planteada al inicio del documento de lograr un mundo cada vez más interconectado y más eficiente en tiempo y distancias, así mismo, se logró evidenciar que las emisiones de CO₂ van a seguir aumentando de manera más controlada pero con tendencia a la alza, sin embargo que el resultado de esa contaminación no va a depender del uso de combustibles fósiles utilizados por la industria de la aviación. Dicha contaminación puede deberse a otros componentes gaseosos emitidos por industrias de mayor talante tales como el sector industrial y el de minas y energía.

A su vez y atendiendo a la comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con las metas propuestas por la OACI en el Plan CORSIA, se debe mencionar que a nivel mundial es poco probable que para 2035, el año de finalización de CORSIA (plan de reducción y compensación de carbono) las emisiones de CO₂ hayan disminuido un

¹⁴ Ver Tabla 7. Modelo econométrico.

50%, debido a que las proyecciones muestran un comportamiento en menores tasas que las emitidas hasta 2016 pero de igual forma muestran un crecimiento gradual de CO₂. Además, hay que mencionar que las estrategias del sector por cambiar los combustibles y sofisticar las aeronaves es un proceso que demanda mucho tiempo y dinero para poder unificar la operación de toda la industria aérea.

No obstante, también se demostró que no es cierto que el aumento en las tasas de movilización del sector y de las emisiones de CO₂ afectan el cumplimiento de las metas nacionales para el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 Acción por el Clima, ya que el sector de transporte aéreo y algunas organizaciones de carácter regional como La IATA han unido esfuerzos para avanzar en términos de protección ambiental, polución del aire, emisiones de otras sustancias gaseosas equivalentes a CO₂ y la salud de las sociedades. Específicamente el gobierno colombiano propuso un conjunto de estrategias industriales condensadas en El Plan de Acción de Cambio Climático con el fin de lograr una reducción del 20% de las emisiones gaseosas en general, meta que va de la mano con la disminución en la movilización internacional de pasajeros y carga y la reducción del uso de combustibles fósiles para la energía final de las aeronaves.

También es importante mencionar dentro de las conclusiones de este documento que el cumplimiento del ODS No. 13 está determinado por la estimación de las variables independientes de la fase III, los cuales demuestran que se puede llegar al cumplimiento del Objetivo por lo menos en cuanto a la operación aeronáutica se refiere ya que la disminución en el uso de combustibles convencionales (Productos petrolíferos) es muy importante. Así mismo se puede concluir que los resultados de esta investigación pueden verse afectados y

serán sensibles a cambios y a reducciones históricas, debido a la crisis originada por el Covid-19, la cual ha impactado a la economía de una forma atípica.

13. Recomendaciones

Este trabajo se puede retomar en un par de años enfocando los análisis en el cálculo exacto de las emisiones por tipo de aeronave y por millas según la metodología A o B del CERT (Herramienta creada por la OACI) con el fin de comparar los resultados de este estudio y evidenciar el cumplimiento de las metas del Plan CORSIA.

En una segunda instancia también se recomienda hacer un trabajo más detallado del método CERT para suministrar esta información a la Aeronáutica Civil.

También se sugiere que más adelante se pueda considerar la opción de hacer el análisis para los vuelos nacionales y realizar un comparativo entre las dos modalidades de servicio.

Finalmente se recomienda retomar la investigación en unos cinco años cuando la crisis originada por el Coronavirus sea una dificultad superada, con el fin de comparar que tantos estragos hizo esta pandemia en el desarrollo de la industria aeronáutica y en las metas de los planes internacionales de aviación y de reducción de gases efecto invernadero.

Referencias

- I. Aeronáutica Civil (2019). La aviación en cifras. Recuperado de.
<https://www.aerocivil.gov.co/Potada/revi.pdf>
- II. Aguilera Reina, F. (2015). Impacto de la aviación sobre el medio ambiente. *Trabajo Fin de Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales* (pp. 77).

- III. Datosmacro.com (2019). Emisiones de CO2 Colombia 2019. Recuperado de:
<https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia#:~:text=Las%20emisiones%20de%20CO2%20en%202019%20han%20sido%20de%2086.550,de%20menos%20a%20m%C3%A1s%20contaminantes.>
- IV. de Blas, L. P. (2006). Escuelas de pensamiento económico. ECOBOOK.
- V. Duque Escobar, G. (2019). Introducción a la teoría económica. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Recuperado de.
<http://bdigital.unal.edu.co/74734/1/introduccionalateoriaeconomica.pdf>
- VI. Duque, A., & Sarmiento, N. (2008). *Desarrollo de un programa de Gestión de Seguridad Operacional para la Aviación Civil Colombiana* (Doctoral dissertation, Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Aeronáutico. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Aeronáutica. Universidad de San Buenaventura. Bogotá. Colombia).
- VII. Fernández, R., Ramos, J., & Ramos, J. (2006). Escuelas de pensamiento económico.
- VIII. Gobierno Nacional. Plan Nacional de Desarrollo. (2018-2022). Recuperado de.
<https://id.presidencia.gov.co/especiales/190523-PlanNacionalDesarrollo/index.html>
- IX. Hidalgo Carvajal, D. A. Estudio de huella de carbono que aporta la aviación de pasajeros dentro del territorio colombiano. Caso de estudio: aeronaves turbo reactores.
- X. Lasalle, J. M. (2007). John Stuart Mill: un liberal de frontera. *Cuadernos de Pensamiento Político*, (13), 221-239.

- XI. Lorenzo, C. (2020). Medición de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la Unión Europea a través de indicadores compuestos. *Documentos de trabajo (Fundación Carolina): Segunda época*, (2), 1.
- XII. Luongo, N. E. (2016). El Historico Acuerdo de la OACI Sobre Aviacion Internacional y Cambio Climatico. Analisis de un Exito Presente y de sus Desafios Futuros (ICAO's Historic Agreement on Aviation and Climate Change. An Analysis of the CORSIA Agreement and Its Present and Future Challenges). *Center for Studies on Air and Space Law (CEDAE), Online Edition*.
- XIII. Ministerio de Ambiente (2019). Protocolo de Kioto. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/protocolo-de-kioto>
- XIV. Movilidad, T., & Hernández, L. C. O. GASES DE EFECTO INVERNADERO PRODUCIDOS POR TRANSPORTE MASIVO, CASO DE ESTUDIO BOGOTÁ DC.
- XV. OACI (2008). La aviación y el medio ambiente. Recuperado de: https://www.icao.int/publications/journalsreports/2008/6304_es.pdf
- XVI. OACI (2016). Corsia – desafíos de la implementación. Recuperado de: https://www.icao.int/Meetings/A40/Documents/WP/wp_228_es.pdf
- XVII. Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 Acción por el clima. (S.F). Recuperado de. <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html>
- XVIII. Quiroga Martínez, R. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe.

- XIX. Remuzgo, L., & Sarabia, J. M. (2013). Desigualdad en la distribución mundial de emisiones de CO₂ por sectores: Descomposición y estudio de sensibilidad. *Estudios de Economía Aplicada*, 31(1), 65-92.
- XX. Río Aguiar, M. D. (2018). Efectos de la Economía colaborativa. Sector turístico y transportes. Recuperado de:
<https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/18716/1/TFG%20DEL%20RA%20O%20AGUIAR%2C%20MIGUEL.pdf>
- XXI. Rodrigo, G. A., & de Villa, A. B. R. (2012). El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo. *Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid, España*). Recuperado de: http://oa.upm.es/20345/1/INVE_MEM_2012_133532.pdf.
- XXII. Sistema de Información Ambiental de Colombia. Recuperado de:
<http://www.siac.gov.co/climaticogei>
- XXIII. Soler, J. A. P., Delgado, F. M., Sanjuán, A. M. B., & García, M. N. (2018). Modelos para evaluar la sostenibilidad de las organizaciones. *Estudios Gerenciales*, 63-73.
- XXIV. Torres, I. F. (2012). El nuevo reto del sector de la aviación: el mercado de emisiones, análisis de algunos problemas. *Documentos de trabajo del Departamento de Derecho Mercantil*, (63), 1.
- XXV. UNICEF (2016). Evaluando los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el Enfoque “Que Nadie se quede Atrás” a través de evaluaciones centradas en la equidad y con perspectiva de género. Recuperado de:
<https://www.evalpartners.org/sites/default/files/documents/evalgender/ES-Evaluating-SDG-web.pdf>