



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas Oceánicas y Recursos Naturales.

“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)
GENERADAS POR EL TRÁFICO AÉREO NACIONAL EN EL
AEROPUERTO DE GUAYAQUIL, 2014 - 2105”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Cambio Climático

Presentado por:

Ing. Clelia Naranjo Freire

Tutora

Gladys Rincón Polo, Ph.D.

Guayaquil – Ecuador, 2017

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

Agradecer a Dios por la vida y sabiduría que me brinda cada día.

Quisiera agradecer a mi tutora Gladys Rincón Polo, Ph.D. por su constante orientación, valiosos comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación.

A José Luis Santos Dávila, Ph.D. por sus sugerencias y propuestas de mejorar este estudio.

Un reconocimiento especial a Galo Salcedo Maridueña, Ph.D. por su colaboración y campaña desde el primer día que empecé la maestría en Cambio Climático en la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Dedicado a mis padres, Adriano y Bélgica, por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son los caminos para lograr las metas. Así mismo a mis sobrinos Eva e Iker, ellos son la alegría de mí vida.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación, me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

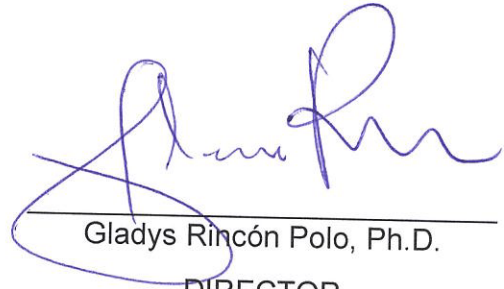
Clelia Naranjo Freire
Ing. Clelia Naranjo Freire

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Indira Nájivos Alvarez, Ph.D.

PRESIDENTE



Gladys Rincón Polo, Ph.D.

DIRECTOR



José Luis Santos Dávila, Ph.D.

Evaluable

RESUMEN

El aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil es el segundo aeropuerto con más tráfico aéreo regular nacional en Ecuador. En él se llevan a cabo siete rutas domésticas: Quito, Galápagos (Baltra y San Cristóbal) y Rutas Menores (Cuenca, Loja, Esmeraldas y Latacunga), se transportan anualmente alrededor de 2.000.000 de pasajeros en 20.000 vuelos. El objetivo de esta investigación es estimar las emisiones de CO₂ a la atmosfera y la Huella de Carbono (HdeC) generadas por las rutas aéreas del aeropuerto de Guayaquil en 2014 y 2015. La metodología utilizada es recomendada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y la Organización Internacional Civil de Aviación (ICAO). Se aplicó el Nivel 3 de la metodología por disponer de la información necesaria de los vuelos. Las estimaciones de CO₂ y HdeC obtenidas en 2014 y 2015 son similares. El total de emisiones de CO₂ generadas por el tráfico aéreo de Guayaquil en 2014 fue 241.676.199 kg de CO₂ y de 222.802.543 kg de CO₂ en 2015. Estos valores representan el 40% de las emisiones nacionales del transporte aéreo para el 2010 y el 0,69% de las emisiones del sector Energético. En 2014, la ruta aérea Quito transportó el mayor número de pasajeros: 1.657.447 en 13.799 vuelos; y emitió 164.479.360 kg de CO₂ con una HdeC por pasajero de 99,24 kg. La ruta que generó mayor HdeC por pasajeros fue Galápagos con 224,78 kg; y generó 70.020.163 kg de CO₂ a la alta troposfera. Las Rutas Menores emitieron 7.176.676 kg de CO₂ con una HdeC de 49,21 kg por pasajero. La distribución de las emisiones totales de CO₂ en las rutas en 2014 fueron: Quito 68%, 29% Galápagos y 3% Rutas Menores. Las emisiones de CO₂ y HdeC obtenidas al aplicar el Nivel 3 del IPCC son similares a las obtenidas con la calculadora del ICAO; las diferencias son menores a 0,5%.

Palabras claves: Emisiones de CO₂ en la Alta Troposfera, Huella de Carbono, Metodología IPCC Nivel 3 y Cambio Climático.

SUMMARY

The airport José Joaquín de Olmedo de Guayaquil is the second airport with the most regular national air traffic in Ecuador. It carries out seven domestic routes: Quito, Galapagos (Baltra and San Cristóbal) and Minor Routes (Cuenca, Loja, Esmeraldas and Latacunga), are carried annually about 2.000.000 passengers on 20.000 flights. The objective of this research is to estimate the CO₂ emissions to the atmosphere and the Carbon Footprint (HdeC) generated by the air routes of the Guayaquil airport in 2014 and 2015. The methodology used is recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the International Civil Aviation Organization (ICAO). Level 3 of the methodology was applied because it had the necessary flight information. The CO₂ and HdeC estimates obtained in 2014 and 2015 are similar. The total CO₂ emissions generated by air traffic in Guayaquil in 2014 were 241.676.199 kg of CO₂ and 222.802.543 kg of CO₂ in 2015. These values represent 40% of national air transport emissions for 2010 and 0,69% of the emissions of the Energy sector. In 2014, the air route Quito carried the largest number of passengers: 1.657.447 on 13.799 flights; And issued 164.479.360 kg of CO₂ with an HdeC per passenger of 99,24 kg. The route with major genus HdeC per passenger was Galapagos with 224.78 kg; And generated 70.020.163 kg of CO₂ to the high troposphere. The Minor Routes issued 7.176.676 kg of CO₂ with an HdeC of 49,21 kg per passenger. The distribution of total CO₂ emissions in the routes in 2014 were: Quito 68%, 29% Galapagos and 3% Minor Routes. The emissions of CO₂ and HdeC obtained when applying Level 3 of the IPCC are similar to those obtained with the ICAO calculator; the differences are less than 0,5%.

Keywords: CO₂ emissions in the High Troposphere, Carbon Footprint, IPCC Level 3 Methodology, and Climate Change.

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCION	12
1.1 Objetivo del Estudio	14
1.1.1 Objetivos Específicos	14
2 MARCO TEÓRICO	16
2.1 Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI)	17
2.2 Gases de Efecto Invernadero en la Troposfera y Estratosfera.....	18
2.2.1 La Troposfera.....	18
2.2.2 La Estratosfera	20
2.3 Transporte aéreo	22
2.3.1 Efectos de la interacción entre la aviación y la atmósfera	22
2.4 Huella de Carbono	22
2.4.1 Importancia de la Huella de Carbono para inventariar emisiones de CO ₂ por tráfico aeroportuario.	24
2.5 Aviación en Ecuador	26
3 METODOLOGÍA	28
3.1 Metodologías propuestas	28
4 RESULTADOS	33
4.1. Selección del método de cálculo de emisiones de CO ₂ generadas por transporte aéreo	33
5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
5.1 Influencia de los variables de entrada sobre la estimación de las emisiones de CO ₂ hacia la atmosfera	37
5.2 Estimación de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO ₂) y de la Huella de Carbono (HdeC) de rutas domésticas del aeropuerto José Joaquín de Olmedo.	42
5.2.1 Ruta Quito.....	43
5.2.2 Rutas Galápagos.	44
5.2.3 Rutas Menores	46
5.3 Comparación del total de emisiones de CO ₂ y Huella de Carbono de las rutas domésticas regulares del aeropuerto Guayaquil de los años 2014 y 2015	48

6 CONCLUSIONES	50
7 RECOMENDACIONES	52
8 REFERENCIAS	53
9 ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Árbol de decisión para la selección del método que se utilizará para estimar la generación de CO ₂ a la atmósfera y la Huella de Carbono generada por el transporte aéreo.	32
Figura 2.- Totales de emisiones de CO ₂ y consumo de combustible en 2014 para las siete rutas domésticas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.	37
Figura 3.- Totales de emisiones de CO ₂ y distancia recorrida en 2014 para las siete rutas domésticas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.	38
Figura 4.- Totales emisiones de CO ₂ y disponibilidad de asientos en 2014 para las siete rutas domésticas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.	40
Figura 5.- Totales emisiones de CO ₂ y número de pasajeros en 2014 para las siete rutas aéreas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.	41
Figura 6.- Totales emisiones de CO ₂ a la atmósfera y masa transportada en 2014 para las siete rutas aéreas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.	42
Figura 7.- Huella de Carbono y emisiones de CO ₂ para la Ruta Quito del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil durante 2014.	43
Figura 8.- Huella de Carbono y emisiones de CO ₂ para las Rutas Galápagos del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil durante 2014.	44
Figura 9.- Comparación de la Huella de Carbono y las emisiones de CO ₂ entre la Ruta Quito y las Rutas Galápagos del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, en 2014.	45
Figura 10.- Comparación de la Huella de Carbono y cantidad de pasajeros entre la Ruta Quito y las Rutas Galápagos del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, en 2014.	46
Figura 11.- Comparación de la Huella de Carbono y emisiones de CO ₂ entre la Ruta Quito, Rutas Galápagos y Rutas Menores del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, en 2014.	47
Figura 12.- Totales emisiones de CO ₂ y Huella de Carbono generadas por el tráfico aéreo de siete rutas domésticas regulares del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil durante los años 2014 y 2015.	48

Figura 13.- Comparación de la distribución de la emisiones totales anuales de CO₂ para los años 2014 y 2015, generadas por las rutas domésticas regulares del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil. 49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Concentración de CO ₂ , H ₂ O, NO _x y SO ₂ en 1993 en la troposfera del hemisferio Norte y emisiones de aviones.....	19
Tabla 2.- Concentración de CO ₂ , H ₂ O, NO _x y SO ₂ en 1993 y 2007 en la estratosfera del hemisferio Norte y emisiones de aviones.....	21
Tabla 3.- Metodologías usadas para la medición de la Huella de Carbono (HdeC) y Gases de Efecto Invernadero (GEI).	25
Tabla 4.- Flota de aviones domésticos en el Aeropuerto José Joaquín de Olmedo, Guayaquil, Ecuador.....	26
Tabla 5.- Ecuaciones usadas por el Nivel 2 del IPCC para estimar emisiones en la alta troposfera de CO ₂ en kilogramos (kg).	29
Tabla 6.- Ecuaciones usadas en el Nivel 3 del IPCC para estimar emisiones en la Alta Troposfera de CO ₂ en kilogramos (kg).	30
Tabla 7.- Estimación de emisiones de CO ₂ y Huella de Carbono generadas por siete rutas aéreas domesticas regulares en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, aplicando la metodología Carbon Emissions Calculator – ICAO, las ecuaciones de la metodología del Nivel 2 del IPCC y la metodología el Nivel 3 del IPCC, año 2014 y 2015.	35
Tabla 8.- Datos usados y resultados de aplicar la metodología IPCC-Nivel 3 para estimar emisiones de CO ₂ en la atmosfera y la Huella de Carbono para las rutas domésticas de vuelos desde el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, durante 2014 y 2015.....	39
Tabla 9.- Consumo de combustible, distancia recorrida y tiempo de vuelo de las Rutas Menores.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Factores de Emisiones LTO y consumo de LTO para Aeronaves comerciales grandes (IPCC, 2006).....	59
Anexo 2.- Factores de Emisiones LTO y consumo de LTO para Aeronaves de reacción y Turbohélices (IPCC, 2006).....	60
Anexo 3.- Ruta Guayaquil-Quito-Guayaquil, 2014.	61
Anexo 4.- Ruta Guayaquil-Baltra-Guayaquil, 2014.	62
Anexo 5.- Ruta Guayaquil-San Cristóbal-Guayaquil, 2014.	63
Anexo 6.- Ruta Guayaquil-Cuenca-Guayaquil, 2014.	64
Anexo 7.- Ruta Guayaquil-Loja, 2014.....	65
Anexo 8.- Ruta Guayaquil-Esmeraldas-Guayaquil, 2014.....	66
Anexo 9.- Ruta Guayaquil-Latacunga-Guayaquil, 2014.....	67
Anexo 10.- Ruta Guayaquil-Quito-Guayaquil, 2015.	68
Anexo 11.- Ruta Guayaquil-Baltra-Guayaquil, 2015.	69
Anexo 12.- Ruta Guayaquil-San Cristóbal-Guayaquil, 2015.	70
Anexo 13.- Ruta Guayaquil-Cuenca-Guayaquil, 2015.	71
Anexo 14.- Ruta Guayaquil-Loja, 2015.....	72
Anexo 15.- Ruta Guayaquil-Esmeraldas-Guayaquil, 2015.....	73
Anexo 16.- Ruta Guayaquil-Latacunga-Guayaquil, 2015.....	74

1 INTRODUCCION

Debido a su ubicación geográfica Ecuador es un país altamente vulnerable a las consecuencias climáticas (Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y Primer Informe Bienal de Actualización (2016), ocurriendo efectos negativos como el fenómeno de El Niño, el aumento del nivel del mar, el retroceso de los glaciares y la disminución de la escorrentía anual, que podrían afectar al desarrollo del país (Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, 2011).

El Quinto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), sugiere que en 1970 la temperatura en la región latinoamericana se ha incrementado de 0,7°C a 1°C (IPCC, 2014). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, indica que Ecuador es un país en desarrollo, por lo tanto, no está contemplado en el Anexo I y no está obligado a reducir emisiones de gases de efecto invernadero (CMNUCC, 1998). Se debe enfatizar que Ecuador es el primer país que en su Constitución (Artículo 86) reconoce los derechos de la naturaleza; además establece que adoptará medidas apropiadas para mitigar al Cambio Climático, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI; Constitución Política De La República Del Ecuador, 2008; y Plan Nacional del Buen Vivir, 2008).

Las GEI que contribuyen al Cambio Climático son: el dióxido de carbono (CO₂), el óxido de nitrógeno (NO_x), el metano (CH₄), las partículas en suspensión (principalmente hollín), el vapor de agua (H₂O) y los compuestos de azufre. Durante los años 2000 al 2010 se han generado a nivel mundial 100 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂eq), es decir, anualmente se generó en promedio 10 GtCO₂eq; esta cantidad de CO₂ es producida en un 47% por el suministro de energía, 30% por la industria y 14% por el transporte (IPCC, 2014).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007 y 2014) y Lee et al. (2010) informan que el tráfico aéreo mundial es causante del 3,5% del Cambio Climático y prevé que en 2050 el tráfico aéreo influirá en 15%. Además, Lee y colaboradores (2010) realizaron un estudio acerca de la actualización y la valoración del impacto de la aviación en la atmósfera y determinaron que en 2005 el aporte de CO₂ de la aviación se incrementó en 2,5% y estiman que en 2050 aumentará entre 5,8 y 8,9%.

Los procesos de combustión por fuentes móviles se transforman en emisiones gaseosas liberadas a la atmósfera. Los motores de los aviones queman combustible (querosenos C_nH_m (+S)) usando oxígeno (O₂) y nitrógeno (N₂) procedentes del aire. Al despegar el avión, los motores emiten dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas (PM), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos no quemados (HC) y monóxido de carbono (CO; Castro, 2006 e IPCC, 2007).

Las emisiones de los motores a reacción de los aviones contienen aproximadamente 70% de dióxido de carbono (CO_2), menos de 30% en del vapor de agua (H_2O), menos del 1% de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), compuestos orgánicos volátiles (COVDM), partículas y otros oligoelementos que son contaminantes y peligrosos para el aire (IPCC, 1999). Sin embargo, autores como Alonso y Ruiz (2009) estiman que estas emisiones se distribuyen en 50% de CO_2 , 25% de NO_x , 20% de partículas, 3% de vapor de agua (H_2O) y 2% de compuestos de azufre. Las emisiones de metano (CH_4) solo se generan cuando los motores tienen una tecnología antigua o cuando el recorrido del vuelo es lento. El IPCC (1999) estima que los motores actuales, es decir, modernos no emiten CH_4 y si lo producen es en mínima cantidad. La cantidad de las emisiones hacia la atmósfera dependerá del número de operaciones que realicen las aeronaves, los tipos y la eficacia de sus motores, la cantidad de combustible fósil utilizado y los tiempos para cada etapa del vuelo (IPCC, 2006).

Los aviones comerciales vuelan en altitudes de crucero entre 8.000 y 13.000 metros, liberando gases y partículas que aportan al efecto invernadero, el 90% de estos gases son liberados en la alta troposfera (Tarrasón et al., 2004). La troposfera es la capa inferior de la atmósfera, que tiene un espesor sobre la superficie de la tierra que varía de 9.000 metros en los polos y 18.000 metros sobre el ecuador, con una altura media de 12.000 metros. La composición química de la troposfera es relativamente constante y consiste aproximadamente en 78% nitrógeno (N_2), 21% oxígeno (O_2) y 0,9% argón (Ar), con 0,1% de otros gases como dióxido de carbono (CO_2), óxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3). En las zonas tropicales la troposfera contiene 4% de vapor de agua (H_2O), siendo éste el responsable de algunas reacciones químicas que se originan en la baja troposfera (Gallegos et al., 2012).

La troposfera tiene un gradiente de temperatura que desciende ($-6,6^\circ\text{C}$ por kilómetro de altura); este gradiente varía horizontalmente de una zona a otra. En esta capa atmosférica ocurren movimientos convectivos de aire (vertical y horizontal) causando perturbaciones y procesos de turbulencia. Estos se deben a la topografía y a las diferencias de presión y temperatura que originan los fenómenos meteorológicos. A la baja troposfera (menos 1000 metros de altura) se la denomina “capa sucia”. Es en esta capa que se concentran compuestos gaseosos como partículas sólidas en suspensión, procedentes de procesos naturales y antrópicos. Estas partículas producen núcleos de condensación que facilitan la transformación de vapor de agua atmosférico a agua líquida. Se resalta que la troposfera contiene todo el vapor de agua atmosférico quedando la estratosfera totalmente libre de agua (Gallegos et al., 2012).

La combustión debido al tráfico aéreo contamina la alta troposfera. Los motores a reacción liberan entre 200 y 400 millones de partículas de hollín por cada kilo de combustible quemado (Kavanaugh, M., 1991). Este hollín, emitido en la tropopausa (capa de transición entre la troposfera y la estratosfera), incrementa la concentración de nitrógeno y carbono en la baja estratósfera; y forman núcleos de condensación al interactuar con el azufre proveniente de las emisiones del óxido de azufre (SO_2), la

cual desestabiliza las propiedades físicas y químicas de la troposfera, tropopausa y estratosfera (Pitchford et al., 1991). Además, los motores a reacción liberan óxidos de nitrógeno (NO_x) que son difíciles de controlar y cuantificar debido a la distancia recorrida por los aviones y la eficiencia de los motores: la eficiencia de los motores a reacción está relacionada con la temperatura de la cámara de combustión (cuanto más se incrementa la temperatura de combustión, mayor es el rendimiento). También, los motores a reacción emiten vapor de agua (H_2O) en la alta tropósfera y baja estratósfera, ocasionando nubes altas y medias. La formación de las nubes tiene consecuencia sobre el clima (Gallegos et al., 2012 y Cisneros, 2008).

Además, el IPCC advierte que los países en vías de desarrollo son los que presentan mayores problemas debido al calentamiento global. En Ecuador en 2005 se realizó un Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, determinándose un total de emisiones de 410.000.000 de toneladas (t) de CO_2 al año (MAE, 2010 y 2006). Se conoce en Ecuador que en los últimos 17 años se han incrementado las emisiones de CO_2 en 54,6% toneladas emitidas a la atmosfera (Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, 2011).

Lo común es inventariar emisiones en las capas bajas de la troposfera, aun cuando haya emisiones directas en las altas capas de la troposfera y la tropopausa, como son las emisiones del parque aeronáutico internacional. En 2015, se estimó que 35.000.000 vuelos se realizaron en el globo terráqueo (ICAO, 2016), con un incremento de 6,3% con respecto al año 2015. En 2015 Ecuador realizó 36.063 vuelos anuales (DAC, 2015).

El aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil es el segundo aeropuerto de mayor tráfico nacional en el Ecuador. En el 2014 se transportaron 2.089.426 personas en 22.745 vuelos y se consumieron 4.752.713 toneladas de combustible del tipo Jet-A. En 2015 se transportaron menos pasajeros: 1.895.286 personas en 17.471 vuelos y se consumieron 4.218.717 toneladas de combustible del mismo tipo usado el año anterior (DAC, 2014 y 2015).

Hasta esta fecha, no se han hecho inventarios de emisiones del parque aéreo doméstico que operan en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo, por lo cual es importante estimar las emisiones de gases de efecto invernadero producto de la operación aérea desde Guayaquil en vuelos nacionales y la Huella de Carbono de los pasajeros que utilizan el aeropuerto en estas rutas domésticas.

1.1 Objetivo del Estudio

Objetivo General

Calcular las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) generadas por el tráfico aéreo de las rutas nacionales en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de la ciudad de Guayaquil en 2014 y 2015.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Evaluar metodologías para cuantificar la emisión de dióxido de carbono (CO_2) derivados del tráfico aéreo nacional de Guayaquil.

- Establecer metodología y calcular las emisiones CO₂ generadas por el tráfico aéreo nacional en Guayaquil en las siete rutas principales.
- Determinar la Huella de Carbono de los pasajeros transportados en el aeropuerto de Guayaquil en 2014 y 2015.

2 MARCO TEÓRICO

En los últimos cincuenta años el transporte aéreo se ha caracterizado por ser un mecanismo práctico en la vida del ciudadano. El transporte aéreo es el único transporte que aporta al cambio climático y no se produce en la superficie terrestre. La mayoría de los aviones vuelan entre altitudes de 8.000 y 13.000 metros, donde las condiciones de temperatura, humedad y composición del aire son distintas a las de la superficie terrestre (Tarrasón et al., 2004).

El transporte aéreo según su magnitud se caracteriza por tener dos tipos de impactos ambientales: efectos locales y efectos globales (Commission of the European Communities, 2008). Las afectaciones locales son el deterioro de la calidad de aire, ocupación de suelo y alteración del hábitat local, mientras los efectos globales más importantes son el uso de recursos naturales no renovables y la aportación al calentamiento atmosférico que impulsa al cambio climático (Alonso y Ruiz, 2009).

Entre los gases de efecto invernadero (GEI) se resalta que el vapor de agua es un compuesto indispensable para la vida a nivel de la baja troposfera. Sin embargo, las emisiones de vapor de agua de las aeronaves causan calentamiento debido a las condensaciones persistentes en forma de líneas. El vapor de agua al llegar a la alta troposfera se convierte en un contaminante porque el agua no forma parte de las sustancias que conforman la estratosfera (capa de la atmósfera ubicada sobre la tropopausa); y la tropopausa (zona de transición entre la troposfera y estratosfera) actúa de “secador” provocando la formación de estelas de condensación y nubes cirrus (Tarrasón et al., 2004). Las estelas son nubes lineales y visibles, que se originan en atmósferas frías y húmedas (IPCC, 2007). Se estima que este tipo de nubes cubren aproximadamente el 0,1% de la superficie de la Tierra. El cirrus se forma a partir de persistentes formaciones de estelas (IPCC, 1999).

Las emisiones atmosféricas en alturas próximas a la tropopausa (8.000 metros de altura en los polos y 13.000 metros en el ecuador) son producidas a nivel global por la aviación. Éstas suman aproximadamente 364.000 toneladas (t) de vapor de H₂O, 5,0 t de NO_x, 0,28 t de SO₂ y 4000 toneladas de hollín. Estos últimos incrementan los aerosoles estratosféricos y ayudan a la generación de nubes de tipo cirrus (Sausen et al., 2005).

Otras organizaciones como el movimiento Airport Watch en la cual participan grupos ecologistas, indican que el impacto y cambio en el clima puede ser aún mayor, al considerar que para el 2030 las emisiones de la aeronáutica pueden contribuir con la cuarta parte de la contaminación atmosférica (IPCC, 2007). El Foro internacional de Transporte (siglas en inglés ITF, 2009) determina que entre el 2005 y 2015 el tráfico aéreo internacional aumentará en 5,3% anual y el tráfico doméstico crecerá en 3% anual. Sin embargo, se estima que el incremento de las emisiones de CO₂ será menor debido a la eficiencia de los combustibles, mejoras en los diseños de las aeronaves, adecuada gestión del tráfico aéreo y correctas medidas de operación de las aeronaves (ICAO, 2011).

Las emisiones procedentes de las operaciones de la aviación nacional se incluyen en los inventarios nacionales y se evalúan considerando la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto. Las emisiones de las operaciones de aviación internacional son consideradas competencia de la Organización de Aviación Civil Internacional (siglas en inglés ICAO). **El Artículo 2.2 del Protocolo de Kyoto** dispone que los países, en coordinación con el ICAO y CMNUCC, procuraran limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por los combustibles del transporte aéreo (CMNUCC, 1998 e ICAO, 2009).

2.1 Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los GEI se encuentran en la atmósfera como componentes gaseosos. Los principales GEI son: dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), ozono (O_3), vapor de agua (H_2O) y el carbono negro. Además, existen GEI directos e indirectos regulados por el Protocolo de Montreal como los halocarbonos, hexafluoruros de azufre (SF_6), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC; IPCC, 1999, 2007 y 2014; Tarrasón et al., 2004; Benavides y León, 2007; Cisneros, 2008 y Gallegos et al., 2012).

Los GEI que son químicamente estables y que permanecen en la atmósfera durante décadas o siglos son: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Estos gases se mezclan rápidamente y se homogenizan en la atmósfera; el CO_2 interactúa constantemente con la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre. Por lo tanto es difícil de determinar su período de permanencia en la atmósfera. Los gases de corta vida (por ejemplo, el dióxido de azufre y el monóxido de carbono) son químicamente reactivos y se eliminan, por lo general, mediante procesos naturales de oxidación en la atmósfera, eliminándolos luego, de caer a la superficie terrestre por causa de las precipitaciones. Por consiguiente, las concentraciones de éstos son muy variables. El ozono es un gas de efecto invernadero importante que se forma y destruye por reacciones químicas que implican a otras sustancias de la atmósfera. En la troposfera, el ser humano influye sobre el ozono principalmente mediante cambios en los gases precursores que conducen a su formación, mientras que en la estratosfera, el ser humano influye a través de incrementos en las tasas de eliminación del ozono producto de los clorofluorocarbonos (CFC) y perfluorocarbonos (PFC). El ozono (O_3) es otro GEI que se forma y se destruye en la atmósfera por reacciones químicas. En la troposfera, el O_3 disminuye debido a las emisiones y concentraciones de CO_2 , N_2O y SF_6 (Benavides y León, 2007).

El inventario de GEI se define como la rendición de cuentas de la cantidad de GEI emitidos o eliminados hacia la atmósfera durante un período de tiempo específico que puede ser de un año. Un inventario de gases de efecto invernadero requiere información sobre las actividades que causan las emisiones y se debe proporcionar los antecedentes sobre los métodos utilizados para hacer los cálculos. Al evaluar los inventarios de GEI se pueden determinar las tendencias de las emisiones y desarrollar estrategias y políticas (WBCSD, WRI, SERMARNAT, 2005).

Ecuador en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y Primer Informe Bienal de Actualización (2016) reportó a la CMNUCC un inventario nacional del 2010, considerado como año de referencia. Este inventario incluye: estimación de las emisiones, absorción de los GEI (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC y PCF y SF_6), gases precursores (SO_2 , CO , NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVNM) distintos del metano no controlados por el Protocolo de Montreal. En esa Comunicación se señala que las emisiones totales alcanzaron un total de 77.679,080 toneladas de CO_2 las cuales provienen principalmente del sector energía, relativo a cambio de uso del suelo, agricultura y procesos industriales, residuos, transporte con un aporte de 15.066.640 toneladas y transporte internacional engloba aviación y marina con un aporte 2.394.680 toneladas

2.2 Gases de Efecto Invernadero en la Troposfera y Estratosfera

La aeronáutica es la principal fuente de contaminación antrópica de las capas altas de la atmósfera. A nivel mundial desde 1960, el tráfico aéreo de pasajeros se ha incrementado en un 9% interanual, es decir, de 2 a 4 veces la tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB; IPCC, 1999); por lo tanto, entre 1990 y 2006 las emisiones de los gases de efecto invernadero de la aviación ha aumentado en un 87% (Lee et al., 2010).

La demanda mundial de combustible fósil para la aviación fue de 117 millones de toneladas métricas (Mt) en 1977; 167 Mt en 1989; 176 Mt en 1990 (Egli, R., 1990); 250 Mt en 2000 y 2007, mostrando un crecimiento importante en el consumo de combustible (Cisneros J, 2008). Consecuentemente, existe un incremento anual de consumo de combustible aéreo igual a 3,8% (IPCC, 1999). En la actualidad los motores de los aviones son más grandes y eficientes; y la capacidad de transportar pasajeros es más numerosa.

La combustión de los aviones expide gases directamente a la troposfera superior y a la estratosfera inferior; estos gases tienen un efecto negativo sobre la composición de la atmósfera a esas alturas. Los principales gases emitidos a la atmósfera desde los aviones son el dióxido de carbono y el vapor de agua. El aumento o disminución de CO_2 y vapor de H_2O emitidos a la atmósfera dependerá de la composición química del combustible (Aguilera, 2015). El contenido de carbono en el queroseno usado en los motores de reacción es 86% de su masa y el peso molecular medio es 164 (Prather et al., 1992).

En Ecuador, los vuelos domésticos se realizan en alturas comprendidas entre 9.000 metros y 11.000 metros (DAC, 2014 y 2015). Por lo tanto, los procesos contaminantes de la combustión aeronáutica en Ecuador se ubican principalmente en la troposfera alta y una fracción en la baja estratosfera.

2.2.1 La Troposfera

La actividad aérea libera vapor de agua en la troposfera; este vapor de agua tarda en ser eliminado por precipitaciones entre 1 y 2 semanas. Una fracción de la emisión de vapor de agua también se libera en la estratosfera inferior y puede acumularse en

mayores concentraciones debido a que el proceso de secado ocurre en la tropopausa (Tarrasón et al., 2004 e IPCC, 1999).

Schumann (1993) calculó el tiempo de residencia (en días), la concentración en la baja troposfera (en partes por millón en volumen; ppmv), la concentración en alta troposfera (en ppmv) y las emisiones (en Mt/día) de ciertos Gases de Efecto Invernadero como el CO₂, H₂O, NO_x y SO₂. En la Tabla 1 se muestra el tiempo de residencia de estos gases en la troposfera: 3650 días CO₂, 9 días el H₂O, 4 días el NO_x y 5 días el SO₂.

Tabla 1.- Concentración de CO₂, H₂O, NO_x y SO₂ en 1993 en la troposfera del hemisferio Norte y emisiones de aviones.

1993				
Troposfera	CO ₂	H ₂ O	NO _x	SO ₂
Emisiones (t/ año)	709	283	4	0,224
Alta Troposfera (ppmv)	354	210	0,00003	0,00009
Baja Troposfera (ppmv)	1,12	0,0032	0,0000067	0,00000034
Tiempo de residencia (días)	3650	9	4	5

Datos tomados de Schumann (1993).

Elaboración propia.

Schuman (1993), también demostró que la concentración en la baja troposfera era de 1,12 ppmv de CO₂, 0,0032 ppmv de H₂O, 0,0000067 ppmv de NO_x y 0,00000034 ppmv de SO₂. Así mismo, estimó las concentraciones en la alta troposfera que han llegado a 354 ppmv de CO₂, 210 ppmv H₂O, 0,00003 ppmv de NO_x y 0,00009 ppmv de SO₂. Las emisiones para 1993 fueron 709 tm de CO₂, 283 tm de H₂O, 4 tm de NO_x y 0,224 tm de SO₂. En la Tabla 1 se evidencian las concentraciones en la baja y alta troposfera, el tiempo de residencia y las emisiones de estos gases. En ella se observa que en 1993 en la alta troposfera, el CO₂ fue el principal gas de efecto invernadero con mayor tiempo de residencia (3650 días), con emisiones de 709 ppmv anual y concentración de 1,12 ppmv en la baja troposfera y de 354 ppmv, a 8 kilómetros de altura. Se destaca que según este autor la concentración de CO₂ es mucho mayor en la alta troposfera que en la baja troposfera (ver Tabla 1).

La presencia de CO₂, H₂O, NO_x y SO₂ en la troposfera producen efectos negativos como el calentamiento o enfriamiento de la atmosfera, la modificación de la química atmosférica y generación de ozono troposférico. En la baja troposfera, el dióxido de carbono (CO₂) por forzamiento radiativo produce calentamiento. El vapor de agua (H₂O) aumenta las estelas de condensación y por forzamiento radiativo también produce calentamiento. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) pueden producir calentamiento por formación de ozono (O₃) o enfriamiento por formación de metano (CH₄). Mientras en la alta troposfera, el dióxido de azufre (SO₂) y sulfato (H₂SO₄)

por forzamiento radiativo producen enfriamiento, causado por los sulfatos en aerosoles; el vapor de agua (H₂O) aumenta la cobertura de nubes cirrus causando forzamiento radiativo que produce calentamiento; y modifica la química del ozono (O₃). El hollín, por forzamiento radiativo produce calentamiento (Tarrasón et al., 2004 e IPCC, 1999).

2.2.2 La Estratosfera

La estratosfera está ubicada sobre la tropopausa entre 20.000 y 50.000 metros. En ella la temperatura se incrementa gradualmente desde menos (-55°C) de la tropopausa hasta alcanzar 0°C de la estratopausa: varios autores sugieren que puede alcanzar hasta -17 C. Por lo tanto, en esta capa la temperatura aumenta con la altitud (Cisnero, 2008). Autores como Ko et al. (1992) estimaron que el 48 % del combustible total global consumido por la aviación se quema en la estratósfera. Se resalta que la aviación constituye la principal contaminación antrópica de la estratósfera y la contaminación de la misma tienen alcance global (Cisneros, 2008).

Schumann (1993) lleva a cabo un análisis similar al mostrado en la Tabla 1 para la estratosfera. En la Tabla 2 se observa las concentraciones de varios GEI en los años 1993 y 2008. En ella se presenta la estimación del tiempo de permanencia de varios gases en la estratosfera para 1993: 3650 días para el CO₂ y 183 días para el H₂O, NO_x y SO₂. En ese estudio, el tiempo de residencia y la masa atmosférica de los GEI dependen de varios factores como la altura, la mezcla de los GEI en la estratosfera y la eliminación de sustancias antes de que lleguen a la estratosfera. También se estimó que la concentración de CO₂ en la alta estratosfera es de 2,24 ppmv, H₂O 0,112 ppmv, NO_x 0,00035 ppmv y SO₂ 0,0256 ppmv. Además, se indica que las concentraciones de estos gases en la baja estratosfera son de 354 ppmv para el CO₂, 12,5 ppmv para el H₂O, 0,00064 ppmv para el NO_x y 0,065 ppmv para el SO₂. Por lo tanto, las emisiones en 1993 en la estratosfera del hemisferio Norte son: 280 t/año de CO₂, 70,4 t/año de H₂O, 1,01 t/año de NO_x y 0,056 t/año de SO₂ (ver Tabla 2).

Cisneros (2008) realizó un estudio similar, pero aplicando la fórmula *cambio de concentración volumétrica* propuesta por él mismo.

$$R = t * Ma / M * Mi.$$

Siendo:

R: tasa de emisiones anual

t: tiempo de residencia

Ma: peso molecular del aire

M: masa de la atmosfera donde se dispersa la sustancia emitida

Mi: peso molecular de la substancia que se trata

Tabla 2.- Concentración de CO₂, H₂O, NO_x y SO₂ en 1993 y 2007 en la estratosfera del hemisferio Norte y emisiones de aviones.

1993				
Estratosfera	CO ₂	H ₂ O	NO _x	SO ₂
Emisiones (t/ año)	280	70,4	1,01	0,056
Alta Estratosfera (ppmv)	2,24	0,112	0,00035	0,0256
Baja Estratosfera (ppmv)	354	12,5	0,00064	0,065
Tiempo de residencia (días)	3650	183	183	183
2007				
Estratosfera	CO ₂	H ₂ O	NO _x	SO ₂
Emisiones (t/ año)	320	126	1,82	0,1
Alta Estratosfera (ppmv)	4,16	0,24	0,00035	0,00005
Baja Estratosfera (ppmv)	354	12,5	0,00127	0,000065
Tiempo de residencia (días)	3650	183	183	183

Datos tomados de Schumann (1993) y Cisneros (2008).

Elaboración propia.

Este autor, al aplicar la fórmula de *cambio de concentración volumétrica* en el año 2007, obtuvo los mismos resultados que Schumann (1993) para los tiempos de residencia de los gases en la estratosfera: CO₂ 3650 días y H₂O, NO_x y SO₂ 183 días. Por otro lado, los estimados de las concentraciones realizado por Cisneros para el 2007 presentan valores mayores de concentración de los GEI con respecto a 1993 y se describen de la siguiente manera: 40 t/año de CO₂, 55,6 t/año de H₂O, 0,81 t/año de NO_x y 0,044 t/año SO₂. Además, se evidencian incrementos en las concentraciones de CO₂ en 1,92 ppmv y H₂O en 0,128 ppmv. La comparación de las concentraciones de los GEI entre 1993 y 2007 (ver Tabla 2), indica que el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero a nivel estratosférico, observándose también la misma abundancia del CO₂ en la troposfera (ver Tabla 1).

Por consiguiente, la presencia de CO₂, H₂O, NO_x y SO₂ en la estratosfera producen varios efectos negativos como son el calentamiento, la modificación de la química y disminución del ozono (O₃). En la baja y alta estratosfera al igual que en la troposfera, el dióxido de carbono (CO₂) por forzamiento radiativo produce calentamiento, el vapor de agua (H₂O) por forzamiento radiativo también produce calentamiento y modifica la química del ozono (O₃) causando reducción del ozono estratosférico y permitiendo un mayor paso de los rayos ultra violeta B (UV-B). Los óxidos de nitrógeno (NO_x) que se encuentran por debajo de 18 - 20 km forman ozono y reducen el paso de los rayos ultra violeta B (UV-B); mientras que cuando están sobre los 18 - 20 km, disminuyen el ozono y aumentan el paso de los rayos ultra UV-

B. El dióxido de azufre (SO_2) y el sulfato (H_2SO_4) modifican la química del ozono. El hollín también la modifica (Tarrasón et al., 2004).

2.3 Transporte aéreo

La Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y Primer Informe Bienal de Actualización (2016), indica que en 2013 según el Balance Energético Nacional de Ecuador el sector transporte demandó en el 2013, el 49% del consumo anual con una tasa de crecimiento del 5,7% en los últimos diez años: la demanda energética del transporte se distribuye de la siguiente manera: terrestre 84%, marítimo 10% y aéreo 6%. En esa Comunicación se señala que el sector transporte es responsable del 19% de las emisiones de CO_2 a la atmosfera (15.066.640 toneladas).

En los inventarios de emisiones de GEI se distingue entre vuelos nacionales y vuelos internacionales. Los vuelos nacionales o domésticos incluyen todo el tráfico aéreo de vuelos civiles de pasajeros y carga, entre dos aeropuertos nacionales. Los vuelos internacionales, liberan emisiones sobre diferentes países y en diversas altitudes. La aviación internacional incluye todo el tráfico aéreo que entra o sale de un país y las emisiones asociadas a estos vuelos requieren de una metodología distinta para su cálculo (Solis y Sheinbaum, 2016).

2.3.1 Efectos de la interacción entre la aviación y la atmósfera

Desde 1992 se conoce que las emisiones de CO_2 generadas por la aviación contribuyen con el 2% del balance radiactivo del planeta (0,02 fuerza radiante, Wm^{-2}). Sin embargo, el IPCC estima que para el 2050 las aeronaves aportarán de 0,23 a 1,45 Gt por $^\circ\text{C}$ al año ($0,85 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) (IPCC, 2006 y 1999).

Se ha determinado que el incremento de nubes cirros después de la formación de las estelas de condensación está relacionado con las emisiones de vapor de H_2O de las aeronaves. Se estima que el 30% de la tierra está cubierto de nubes cirrus, por lo cual un incremento de la cobertura de nubes cirrus tiende a calentar la superficie de la Tierra. Según el IPCC (2006) en 1990 la cubierta de nubes cirrus provocada por las emisiones de las aeronaves aumentó hasta en un 0,2 %. Además, el IPCC pronostica que este aumento puede llegar a ser de 0,8% en 2050 (IPCC, 1999 y 2006). El IPCC estimó en 1992 que las estelas de condensación de las aeronaves recubren alrededor de 0,1% de la superficie de la Tierra ocasionando calentamiento de la superficie. En base a la tasa de incremento del consumo de combustible de aviación se determinó que la cobertura de estelas de condensación aumentará en 0,5% en 2050 afectando a la troposfera superior (IPCC, 2006).

2.4 Huella de Carbono

Varios autores como Boiral, 2006; Wiedmann y Minx, 2008; Wittneben y Kiyar, 2009; Pandey et al., 2010, definen Huella de Carbono (HdeC) como un indicador exacto de los impactos inducidos por las acciones del hombre en el entorno y es

considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de GEI. La HdeC es un concepto orientado a describir de manera estimativa la cantidad de emisiones de GEI generadas por una persona, actividad o proceso (Barbero y Rodríguez, 2012).

El cambio climático y la HdeC han trascendido al comercio internacional y es liderado por los países con compromisos de reducción de emisiones de acuerdo con el Protocolo de Kyoto (Plassmann et al., 2010). Los sectores productivos realizan avances tecnológicos para cuantificar sus emisiones y estudios para la disminución de los efectos climáticos; con la finalidad de resguardar su posición competitiva y económica, agregando un valor importante en sus productos, como el sello verde. (Schneider y Samaniego, 2009).

A nivel global se han realizado estudios sobre la cuantificación de HdeC en base a diferentes estudios metodológicos. La Tabla 3 muestra varias organizaciones que han diseñado e implementado herramientas metodológicas para la cuantificación de GEI y HdeC. La metodología del ICAO es la más antigua (1993) para estimar emisiones de CO₂ (kg) y HdeC (kg/pasajeros) y también se cuenta con la metodología del Panel Intergubernamental en Cambio Climático (propuesta en 1996). La metodología más actual (2009) corresponde a la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (siglas en inglés USEPA) para la estimación de actividades aeroportuarias (ver Tabla 3). A continuación se exponen varios autores que han aplicado diferentes metodologías para estimar HdeC y GEI:

Tirado en 2010, realizó un inventario de las emisiones atmosféricas producidas por la actividad aérea comercial en el aeropuerto el Dorado de Bogotá D.C, utilizando la metodología de la USEPA. Los resultados obtenidos se consideran confiables. Hidalgo en 2012, estimó la HdeC que aporta la aviación de pasajeros dentro del territorio colombiano, utilizando la metodología Carbon Emissions Calculator del ICAO. Herrera y Vales en 2013, estimó las emisiones de gases contaminantes generadas por la actividad aérea en México, utilizando las metodologías Carbon Emissions Calculator de ICAO y el Nivel 2 del IPCC. Estos autores aplicaron la calculadora Web del ICAO logrando resultados óptimos. Sin embargo, al aplicar y comparar los resultados del método del Nivel 2 del IPCC se obtuvieron valores distintos a los de la calculadora Web del ICAO con un margen de diferencia de 24%. Es necesario mencionar que en el estudio de Herrera y Vales, el 65% de las emisiones de CO₂ corresponden a los vuelos internacionales y el 35% a los nacionales.

Mientras, Santiago en 2015, estimó la HdeC que genera la Universidad San Francisco, aplicando las metodologías Carbon Emissions Calculator del ICAO, metodología Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol) de World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales) y la metodología World Business Council for Sustainable Development. Los resultados determinaron que la Universidad San Francisco emite un total de 17.576 toneladas (t) de CO₂ por consumo de energía eléctrica, 10.967 t de CO₂ por transporte terrestre y 1.327 t CO₂ por transporte aéreo. Para los estudios de aviación este autor solo analizó la HdeC de los

alumnos extranjeros. Según el Protocolo de Kyoto y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, las emisiones de la aviación internacional están excluidas de los inventarios nacionales; sin embargo, las emisiones internacionales podrían considerarse como actividades terrestres y no parte de la aviación (CMNUCC, 1998)

2.4.1 Importancia de la Huella de Carbono para inventariar emisiones de CO₂ por tráfico aeroportuario.

En la aviación existen varios factores directos e indirectos que influyen en la generación de CO₂, que es el contribuyente principal a la HdeC por parte de la industria. Entre los factores indirectos se consideran a las áreas administrativas de la industria, las instalaciones de mantenimiento, los vehículos de transporte terrestre utilizados dentro de los aeropuertos, servicios adicionales a la aviación en los aeropuertos (tiendas, restaurantes, casas de cambio) y otros. El factor directo principal es la cantidad de combustible consumido por las aeronaves.

La cantidad de consumo de combustible de los aviones está dada por la cantidad de energía total necesaria para el vuelo y por la eficiencia del combustible. La intensidad de la quema del combustible fósil, sumado con el consumo de combustible, determina la cantidad total de emisiones de CO₂ de las aeronaves (Hidalgo, 2012).

Tabla 3.- Metodologías usadas para la medición de la Huella de Carbono (HdeC) y Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Metodología disponible por Institución	Método	Año de elaboración	Cuantifica	Estrategia
International Civil Aviation Organization ; Montreal (ICAO, 1993, 2014 y 2016)	Carbon Emissions Calculator	1993	CO ₂ HdeC	Aviación
Intergovernmental Panel on Climate Change; Estados Unidos, Alemania, Reino Unido y Noruega (IPCC, 1996 y 2006).	Nivel 1, 2 y 3	1996	GEI	Aviación
Agence d l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Agencia Francesa del Medio Ambiente y Gestión de la Energía); Francia (Bilan Carbone, 2010).	Balance de Carbono - Bilan Carbone (BC)	2004	GEI HdeC	Empresas Industriales y Transporte Terrestre
World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales) y World Business Council for Sustainable Development; Nueva Zelanda (Greenhouse Gas Protocol, 2004).	Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol).	2007	GIE HdeC	Empresas Industriales y Transporte Terrestre.
Instituto Británico de Estandarización (BSI) en colaboración con: Consorcio del Carbono (Carbon Trust) y el Depto. para el Ambiente, la Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA); Reino Unido (British Standards Institute (BSI), 2008).	Carbon Trust - PAS 2050	2008	HdeC	Empresas y Transporte Terrestre.
United States Environmental Protection Agency: Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA); Estados Unidos (USEPA, 2008).	Environmental Protection Agency (EPA)	2008	GEI	Actividades aeroportuarias

Elaboración propia.

2.5 Aviación en Ecuador

El aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo de la ciudad de Guayaquil, es el segundo aeropuerto con más movimiento de pasajeros en Ecuador. La flota de aviones del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil está conformada por 29 aeronaves que pueden transportar a 4.895.000 pasajeros en vuelos domésticos. La Tabla 4 muestra las características de la flota ecuatoriana y muestra que los aviones más antiguos son los BOEING modelos 727-200 de 1980, 777-200 de 1978 y 727-200 de 1970; y los más modernos son Airbus modelo A-320-232 de 2007 y Embraer modelo ERJ -190LR de 2005. Las aeronaves con mayor capacidad de transportar son: Airbus A-340-243 de 2003 con 278 asientos y Airbus A-320-232 de 2007 con 174 asientos (ver Tabla 4).

Tabla 4.- Flota de aviones domésticos en el Aeropuerto José Joaquín de Olmedo, Guayaquil, Ecuador.

Marca Avión	Modelo	Año Fabricación	Matricula	Flota	Asientos
Embraer	ERJ -190LR	2005	HC-CGF HC-CGG HC-COY	3	104
Airbus	A – 340-243	2003	HC-COH	1	278
Airbus	A – 320-232	2003	HC-COC HC-COE HC-CPB HC-CID	4	162
		2007	LV-BTM LV-CKV LV-BET LV-BFY LV-BFO	5	174
Airbus	A – 319-112	2003	HC-CMO HC-COF HC-CGT HC-CMP	4	120
		2005	LV-BRA LV-BSJ LV-BRY LV-BOI LV-BHU LV-CQS	6	144
ATR	42-500	2008	HC-CLT HC-CMB HC-CMH	3	48
BOEING	727 – 200	1980	HC - BHM	3	155
	777 – 200	1978	HC - BZS		155
	727 – 100	1970	HC - BLE		123

Elaboración propia.

Los combustibles más utilizados en la aeronáutica son *Jet A*, *Jet A – 1* y *Jet B*. *El Jet A es un querosene que se distingue por tener un punto de fusión entre -40 y -47°C (baja capacidad de congelarse), el Jet A – 1, variación del Jet A, se caracteriza por haberle agregado un aditivo antiestático que lo mejora y el Jet B se diferencia por ser una mezcla de nafta y queroseno, la cual es útil en climas fríos debido a su composición y bajo punto de fusión (ICAO, 2016).*

En Ecuador, los aviones de turbina utilizan turbo combustible, que es un kerosén con un punto de fusión inferior al kerosene común. También utilizan Jet A-1 como combustible. La Dirección General de Aviación Civil del Ecuador (DAC) es el ente regulador que mantiene el control técnico operativo de la actividad aeronáutica nacional, con sede en el Distrito Metropolitano de Quito; ejerciendo las atribuciones y responsabilidades en la Ley de Aviación Civil Ecuatoriana (DAC, 2015).

En la ciudad de Guayaquil no existe un monitoreo permanente de concentración de gases de efecto invernadero ocasionado por el tránsito aéreo, sin embargo, el Ministerio del Ambiente (MAE) anuncia un aumento de emisiones y material particulado (MAE, 2010).

3 METODOLOGÍA

Como ya se expuso, la quema de combustible genera emisiones de gases que en el transporte aeronáutico son: CO₂ (70%) y H₂O (29%) y en cantidades menores (1%) NO_x, CO, SO_x, COVDM y material particulado, así mismo, la cantidad de emisiones a la atmosfera depende del tipo de aeronave, eficiencia de los motores, combustible utilizado y duración del vuelo. Para la estimación de las emisiones de CO₂ y la Huella de Carbono (HdeC) generadas por el transporte aéreo, se proponen dos metodologías: del IPCC (1996 y 2006) y metodología del ICAO (1993 y 2016).

3.1 Metodologías propuestas

El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) establece una guía metodológica orientada a estimar la HdeC y las emisiones de CO₂ a la atmosfera generadas por el tráfico aéreo regular. Esta metodología se aplica para tres niveles distintos de datos de entrada, que generan resultados con diferentes precisiones. En la metodología propuesta por el IPCC en 1996 y 2006, a medida que se aumenta de nivel (pasando del Nivel 1 a Nivel 3) se requiere información más detallada sobre los vuelos, la cual a veces es difícil de obtener, pero en compensación se incrementa el grado de precisión del resultado obtenido. En el Nivel 1 se estiman las emisiones de CO₂ utilizando solamente el consumo de combustible. En el Nivel 2 se estima el total de emisiones de CO₂, considerando la cantidad de ciclos de aterrizaje y despegue (LTO: landings and takeoffs – en sus siglas LTO) y el consumo de combustible. En el Nivel 3 se estima el total de emisiones de CO₂ y la HdeC utilizando adicionalmente información sobre el movimiento para vuelos individuales.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI; siglas en ingles ICAO). Es una agencia de la Organización de las Naciones Unidas, creada en 1944 por el Convenio sobre Aviación Civil Internacional. ICAO estudia los problemas que genera la aviación civil internacional; y está dirigido por un Consejo Permanente con sede en Montreal (ICAO, 1993, 2014 y 2016). Para realizar los cálculos de las emisiones de CO₂ y la HdeC se aplican varias ecuaciones, como: factor de ocupación de pasajero (pax-to-freight-factor, en inglés que es como lo llamaremos en esta investigación), masa total transportada y factor de ocupación. Además, ICAO ofrece en su página el servicio de calculadora para estimar las emisiones de CO₂ y HdeC (Carbon Emissions Calculator). Es el ICAO quien se encarga de las actualizaciones de la base de datos de esta calculadora.

A continuación se detallan los tres niveles propuestos en la metodología del IPCC (1996 y 2006) e ICAO (1993 y 2016):

Nivel 1, para la estimación del CO₂ emitido para este nivel, se multiplica el consumo de combustible para la aviación (LTO y crucero) por el factor de emisión promedio. Se destaca que esta metodología no hace diferencia en el consumo de combustible durante el despegue, aterrizaje y vuelo a altura de crucero. Este nivel proporciona

buenos resultados para calcular las emisiones de *aeronaves pequeñas* que consumen menos del 1% de combustible. También se utiliza cuando *no existe disponibilidad de datos* sobre el uso operativo de las aeronaves (IPCC, 2006). En este nivel las emisiones de CO₂ se calculan según la ecuación 1.

$$\text{Emisiones} = \text{Consumo de combustible} \times \text{Factor de emisión} \quad (\text{ecuación 1})$$

Siendo:

Consumo de combustible (kg): combustible utilizado por todos los vuelos que salen del aeropuerto de origen y que llegan al aeropuerto de destino.

Factor de emisión: constante igual al valor de 3,157, que representa el número de toneladas de CO₂ generadas al quemar una tonelada de turbosina.

Nivel 2, este nivel requiere consumo de combustible (en kg) de motores de aeronaves a reacción y las actividades aeronáuticas, las cuales se dividen en dos fases: fase de LTO constituida por dos ciclos (aterrizaje y despegue) y fase de crucero, con un factor de emisión que contempla el rodaje, despegue, ascenso y aproximación. Los factores de emisión LTO para cada tipo de motor de aeronave se encuentra en la lista Airlines Fleets International 2008-2009 (ver Anexos 1 y 2). La fase llamada de crucero ocurre cuando el avión ha alcanzado la altura establecida en la que se encuentra estabilizado y contempla la distancia entre el aeropuerto de origen y el aeropuerto de destino (ICAO, 2009; e IPCC, 1996 y 2006). La Tabla 5 indica las variables y ecuaciones que se usan para los cálculos estimados de CO₂.

Tabla 5.- Ecuaciones usadas por el Nivel 2 del IPCC para estimar emisiones en la alta troposfera de CO₂ en kilogramos (kg).

Ecuaciones del Nivel 2	
Total emisiones = Emisiones LTO + Emisiones crucero	ecuación 2
Emisiones LTO = Cantidad de LTO * factor emisión LTO	ecuación 3
Consumo combustible = Cantidad LTO * Consumo combustible LTO	ecuación 4
Emisiones crucero = (Consumo total combustible - Consumo combustible LTO) * Factor emisión de crucero	ecuación 5

Elaboración propia.

Siendo:

Consumo total de combustible (kg): total de combustible consumido por cada vuelo.

Consumo de combustible del LTO (kg): consumo de combustible que se utiliza para despegue y aterrizaje del avión (anexo 1 y 2).

Factor de emisión del Crucero: constante igual al valor de 3,157, que representa el número de toneladas de CO₂ generadas al quemar una tonelada de turbosina.

Cantidad de LTO: número de movimientos o vuelos de una ruta determinada.

Factor de emisión LTO: factor de emisión para cada modelo de aeronave (ver los anexo 1 y 2).

El Nivel 2 toma en cuenta las actividades que ocurren en una altitud superior e inferior a 914 metros (3000 pies). La aplicación del Nivel 2 se divide en cuatro pasos (IPCC, 1996 y 2006; Tabla 5):

1. Estimar el total de emisiones de CO₂ (kg) de los vuelos domésticos regulares (ecuación 2; ver Tabla 5).
2. Estimar las emisiones LTO (en kg; aterrizaje y despegue) de los vuelos domésticos regulares (ecuación 3; ver Tabla 5).
3. Calcular el consumo de combustible LTO (kg) para las operaciones de cabotaje (vuelos dentro de un mismo país; ecuación 4; Tabla 5).
4. Estimar las emisiones de crucero para los vuelos domésticos regulares (ecuación 5; ver Tabla 5).

El Nivel 3, estima las emisiones de CO₂ y HdeC mediante la aplicación de las fórmulas creadas por ICAO. Las variables requeridas para la metodología del Nivel 3 (IPCC, 1996 y 2006; ICAO, 1993, 2014 y 2016) son: número de movimientos (origen y destino), cantidad de pasajeros, cantidad de asientos ofertados, peso de la mercancía transportada y peso del correo.

La Tabla 6 muestra las variables que se necesitan para estimar las emisiones de CO₂ en la alta troposfera con su respectiva ecuaciones. Además, la ecuación 6 presenta sub-ecuaciones para ser calculada.

Tabla 6.- Ecuaciones usadas en el Nivel 3 del IPCC para estimar emisiones en la Alta Troposfera de CO₂ en kilogramos (kg).

Ecuaciones del Nivel 3	
Emisión de CO ₂ = Factor de emisión * (Total combustible * Pax-to-freight-factor / Pax * Factor ocupación)	ecuación 6
Pax-to-freight-factor = (100*Pax) / Masa total transportada	ecuación 6.1
Masa total transportada = (100 * Pax) + Correo + Mercancía	ecuación 6.2
Factor de ocupación= Pax / número de asientos	ecuación 6.3
Huella de Carbono = Emisiones de CO ₂ / Pax	ecuación 6.4

Elaboración propia.

Siendo:

La constante: constante igual al valor de 3,157, que representa el número de toneladas de CO₂ generadas al quemar una tonelada de turbosina.

Total combustible: combustible total consumido por vuelo.

Número de asientos: asientos disponibles por cada vuelo.

Factor de ocupación: relación entre el número de pasajeros transportados y el número de asientos disponibles.

Pax-to-freight-factor: relación entre el peso de los pasajeros y la masa total transportada, multiplicando el número de pasajeros por 100 kg (representa el peso de cada pasajero junto con su equipaje).

Masa total transportada: peso asignado al pasajero (100 kg por el número de pasajeros) más el peso del correo y el peso de la mercancía transportada por la aeronave (kg).

Huella de Carbono: relación entre las emisiones de CO₂ y el número de pasajeros transportados (Pax).

Pax: número de pasajeros transportados.

La HdeC calculada por medio de la ecuación 6 es la razón entre el indicador de *emisión de CO₂ y la cantidad de pasajeros*. Se debe resaltar que la metodología del ICAO (1993, 2014 y 2016) es la misma metodología del Nivel 3 expuesta por el IPCC (1996 y 2006) ya que el IPCC la adoptó en su Manual de Directrices del IPCC en 1996 y 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

La Figura 1 presenta un **Árbol de decisión** para seleccionar el Nivel de la metodología de acuerdo a la información disponible. Este árbol de decisión permite agilizar la selección del nivel de la metodología del IPCC, para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes del transporte aéreo doméstico regular del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

En base al análisis del *Árbol de decisión* se concluye que, por el tipo de información técnica disponible las metodologías del Nivel 2 del IPCC (1996 y 2006) y del Nivel 3 del IPCC (1996 y 2006) y la metodología del ICAO (1993, 2014, 2016) son apropiadas para las estimación de las emisiones de CO₂ y HdeC generadas por el tráfico aéreo doméstico regular en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

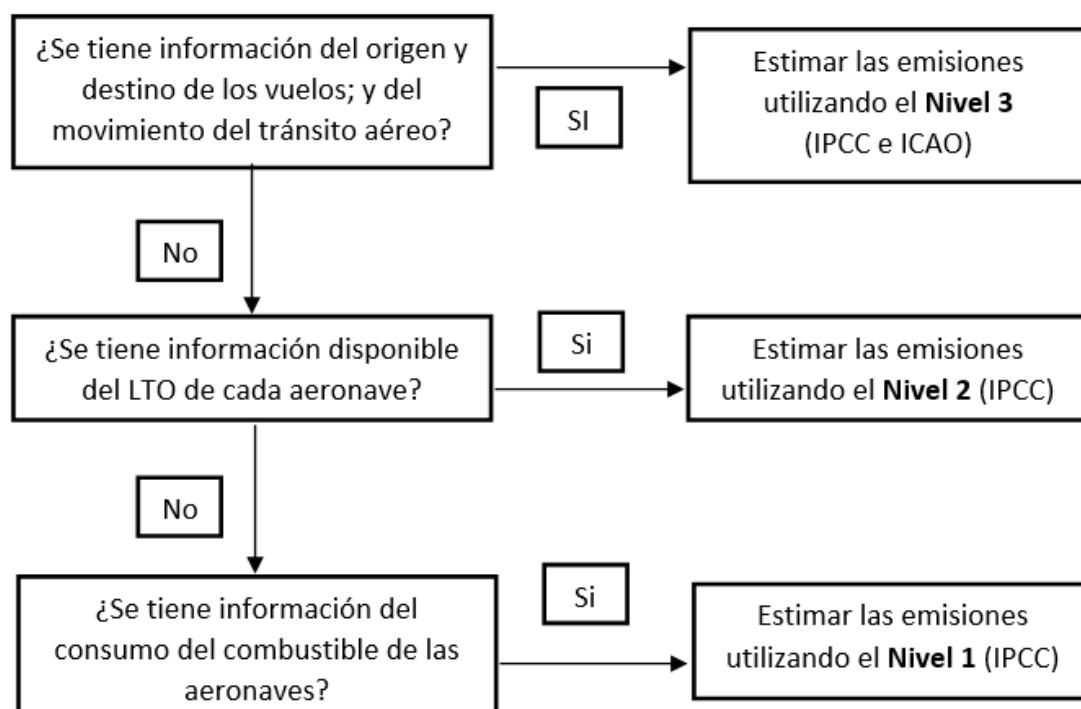


Figura 1.- Árbol de decisión para la selección del método que se utilizará para estimar la generación de CO₂ a la atmósfera y la Huella de Carbono generada por el transporte aéreo.

Nota: LTO significa aterrizaje y despegue.

Elaboración propia.

4 RESULTADOS

El aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, fue el segundo aeropuerto más traficado de Ecuador durante 2014 y 2015 y transportó a 3.984.712 pasajeros en 38.537 vuelos aéreos regulares nacionales. El movimiento de vuelos domésticos de este aeropuerto incluye siete rutas que despegan y aterrizan desde Guayaquil, las cuales son:

1. **Ruta Quito:** Guayaquil (GYE)-Quito (UIO)-Guayaquil (GYE)
2. **Ruta Baltra:** Guayaquil (GYE)-Baltra (GPS)-Guayaquil (GYE)
3. **Ruta San Cristóbal:** Guayaquil (GYE)-San Cristóbal (SCY)-Guayaquil (GYE)
4. **Ruta Cuenca:** Guayaquil (GYE)- Cuenca (CUE)-Guayaquil (GYE)
5. **Ruta Loja:** Guayaquil (GYE)- Loja (LOH)-Guayaquil (GYE)
6. **Ruta Esmeralda:** Guayaquil (GYE)-Esmeralda (ESM)- Guayaquil (GYE) y
7. **Ruta Latacunga:** Guayaquil (GYE)-Latacunga (LTX)- Guayaquil (GYE).

En esta investigación se aplicaron las ecuaciones mostradas en la metodología propuesta por el Nivel 3 del IPCC (1996 y 2006) para estimar las emisiones de CO₂ y HdeC en las siete rutas domésticas regulares nacionales. También se probaron las ecuaciones del Nivel 2 del IPCC (1996 y 2006) y la metodología Carbon Emissions Calculator del ICAO (calculadora Web del ICAO) y se compararon los resultados obtenidos por estas tres metodologías entre sí.

4.1. Selección del método de cálculo de emisiones de CO₂ generadas por transporte aéreo

La metodología **Carbon Emissions Calculator del ICAO** es útil cuando se tiene poca información acerca de los vuelos. Los datos requeridos para estimar las emisiones de CO₂ a la atmosfera y la HdeC por esta calculadora son dos: números de pasajeros y origen-destino del vuelo. Se conoce que esta calculadora cuenta con una base de datos con la información geográfica requerida y estimación del combustible consumido por tipo de vuelo, la cual es actualizada por ellos mismos.

El **Nivel 2 del IPCC** utiliza las ecuaciones mostradas en la Tabla 5 para estimar las emisiones de CO₂ a la atmosfera: es importante resaltar que este Nivel 2 no estima HdeC por pasajero. Además, tanto el IPCC (2006) como Herrera y Vales (2013) indican que la precisión de los resultados estimados para este Nivel son bajos en comparación con los obtenidos por las ecuaciones del Nivel 3. Los datos de entrada para realizar las estimaciones de CO₂ a la atmosfera son: consumo de combustible de motores de aeronaves a reacción, fases de LTO (aterrizaje y despegue) y factor de emisión de LTO para cada tipo motor de aeronave (ver Anexo 1 y Anexo 2). Se destaca que la información requerida para realizar estas estimaciones no está abierta al público, siendo la misma difícil de conocer.

Las **ecuaciones del Nivel 3** mostradas en la Tabla 6, estiman las emisiones de CO₂ y HdeC por pasajero. De los tres niveles propuestos por el IPCC, el Nivel 3 es el único que permite estimar la HdeC. Los datos requeridos para este nivel son: frecuencia de vuelos según origen y destino, número de pasajeros, número de asientos ofertados, peso de la mercancía transportada y peso del correo. Nuevamente se destaca lo difícil de obtener esta información por no estar disponible al público en general.

Existen diferencias entre los resultados obtenidos en las estimaciones de CO₂ y HdeC usando el Nivel 2 y Nivel 3 del IPCC y la calculadora ICAO. Se destaca una diferencia importante entre la cantidad de datos requeridos por las ecuaciones del Nivel 2 y las del Nivel 3 (ver Tablas 5 y 6): se considera que las metodologías que requieren más detalles al momento de realizar cálculos tienen menos incertidumbre asociadas a sus resultados.

La Tabla 7 presenta los resultados de las emisiones de CO₂ y HdeC al aplicar las ecuaciones del Nivel 2, Nivel 3 y Carbon Emissions Calculator del ICAO (facilitada en la Web) en cada ruta aérea domestica nacional regular del aeropuerto José Joaquín de Olmedo. Al comparar los resultados de las emisiones de CO₂ (kg) y la HdeC (kg) entre el Nivel 3 del IPCC (1996 y 2006) y Carbon Emissions Calculator del ICAO se presentan diferencias muy pequeñas entre sus estimaciones (ver Tabla 7). Las diferencias de las emisiones de CO₂ en el 2014 están entre 0,37 y 0,63%, con un promedio de diferencia de los valores resultantes de 0,48%. Para el 2015 la diferencia entre ambos estimados se encuentra entre 0,55 y 0,81%, con un promedio de 0,59%. En 2014 la HdeC varía entre 0,04 y 0,60% con un promedio de 0,21% y, para el 2015 la diferencia está entre 0,04 y 0,46% con un promedio de 0,26% (ver Tabla 5). Estos resultados podrían indicar que las estimaciones obtenidas por ambas metodologías son similares.

Al comparar los resultados del Nivel 2 del IPCC (1996 y 2006) con los de Carbon Emissions Calculator del ICAO, se evidencian diferencias importantes en los estimados de las emisiones de CO₂ para las siete rutas. Estas diferencias varían entre 2,48 y 15,49 % para el año 2014, con un promedio de las diferencias de 14,58%. Para el 2015 las diferencias entre los estimados por ambos métodos son aún mayores: 4,07 - 23,20%, con un promedio de las diferencias de 13,02% (ver Tabla 5). Al observar la diferencia obtenida entre los resultados de ambas metodologías y conociendo la simplicidad de las ecuaciones del Nivel 2, se podría afirmar que el Nivel 2 genera resultados de menor precisión que los de Carbon Emissions Calculator del ICAO.

Al comparar los resultados de las emisiones de CO₂ obtenidas con el Nivel 2 y el Nivel 3, se obtiene que la diferencia entre los resultados de ambos métodos están en el mismo orden que en el caso anterior. En 2014 la diferencia promedio es 13,15% y en 2015 es 12,04%. En el aeropuerto de México se realizó un estudio similar de emisiones de CO₂ y HdeC por actividad aérea. También al emplear y comparar los resultados entre el método del Nivel 2 del IPCC y la calculadora Web del ICAO, obtuvieron un margen de diferencia alto, en este caso del 24% (Herrera y Vales, 2013).

Tabla 7.- Estimación de emisiones de CO₂ y Huella de Carbono generadas por siete rutas aéreas domesticas regulares en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, aplicando la metodología Carbon Emissions Calculator – ICAO, las ecuaciones de la metodología del Nivel 2 del IPCC y la metodología el Nivel 3 del IPCC, año 2014 y 2015.

2014											
Rutas	# Pasajeros	# Vuelos	Carbon Emissions Calculator - ICAO		Nivel 2	Nivel 3		Porcentaje (%)			
			Promedio anual CO ₂ (kg)	Promedio anual HdeC (kg)	Promedio anual CO ₂ (kg)	Promedio anual CO ₂ (kg)	Promedio anual HdeC (kg)	Diferencia CO ₂ Nivel 2 y Calculadora ICAO	Diferencia CO ₂ Nivel 3 y Calculadora ICAO	Diferencia HdeC Nivel 3 y Calculadora ICAO	Diferencia CO ₂ Nivel 3 y Nivel 2
GYE-UIO-GYE	1.657.447	13.799	163.617.395	99,30	141.666.641,31	164.479.360	99,24	15,49	0,52	0,06	13,87
GYE-CUE-GYE	71.278	1.894	2.569.774	36,20	2.375.634,97	2.585.435	36,27	8,17	0,61	0,20	8,11
GYE-GPS-GYE	200.702	1.511	48.086.612	240,40	42.691.441,76	48.265.765	240,48	12,64	0,37	0,04	11,55
GYE-LOH-GYE	34.696	1.090	1.823.458	52,80	1.598.089,92	1.833.872	52,86	14,10	0,57	0,10	12,86
GYE-SCY-GYE	85.450	785	21.668.655	254,80	19.033.641,31	21.754.398	254,59	13,84	0,39	0,08	12,51
GYE-ESM-GYE	26.027	718	2.047.080	78,80	1.852.328,12	2.059.143	79,12	10,51	0,59	0,40	10,04
GYE-LTX-GYE	13.826	511	693.856	50,20	677.035,65	698.227	50,50	2,48	0,63	0,60	3,04
Total anual	2.089.426	20.308	240.506.829	812,50	209.894.813	241.676.199,33	813,05	14,58	0,48	0,21	13,15
2015											
Rutas	# Pasajeros	# Vuelos	Carbon Emissions Calculator - ICAO		Nivel 2	Nivel 3		Porcentaje (%)			
			Promedio anual CO ₂ (kg)	Promedio anual de HdeC (kg)	Promedio anual CO ₂ (kg)	Promedio anual CO ₂ (kg)	Promedio anual HdeC (kg)	Diferencia CO ₂ Nivel 2 y Calculadora ICAO	Diferencia CO ₂ Nivel 3 y Calculadora ICAO	Diferencia HdeC Nivel 3 y Calculadora ICAO	Diferencia CO ₂ Nivel 3 y Nivel 2
GYE-UIO-GYE	1.461.235	11.401	144.593.889	99,30	128.885.641	145.386.307	99,50	12,19	0,55	0,20	11,35
GYE-CUE-GYE	64.710	1.926	2.333.626	36,20	2.242.402	2.350.715	36,33	4,07	0,73	0,35	4,61
GYE-GPS-GYE	203.328	1.619	48.670.259	240,40	42.691.442	49.007.030	241,02	14,00	0,69	0,26	12,89
GYE-LOH-GYE	33.577	1.120	1.768.229	52,80	1.435.290	1.780.605	53,03	23,20	0,70	0,43	19,39
GYE-SCY-GYE	82.285	758	20.853.038	254,80	17.777.141	20.979.274	254,96	17,30	0,60	0,06	15,26
GYE-LTX-GYE	23.166	749	1.153.051	50,20	972.156	1.162.473	50,18	18,61	0,81	0,04	16,37
GYE-ESM-GYE	26.985	726	2.121.208	78,80	1.976.854	2.136.139	79,16	7,30	0,70	0,46	7,46
Total anual	1.895.286	18.299	221.493.300	812,50	195.980.926	222.802.542,76	814,18	13,02	0,59	0,26	12,04

Elaboración propia.

Se concluye que los resultados de las estimaciones de las emisiones de CO₂ y de la HdeC que se obtienen al aplicar el Nivel 3 del IPCC y Carbon Emissions Calculator del ICAO son similares, con diferencias menores a 0,5%. Por lo expuesto en esta investigación se usa el Nivel 3 del IPCC para las estimaciones de las emisiones de CO₂ y de la HdeC.

5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Influencia de los variables de entrada sobre la estimación de las emisiones de CO₂ hacia la atmosfera

Se analiza la relación entre las variables de entrada (asientos disponibles, distancias recorridas, consumo de combustible y total de masa transportada) con la estimación de las emisiones de CO₂ emitidas a la atmosfera usando la metodología IPCC-Nivel 3.

La Figura 2 muestra las emisiones de CO₂ frente el consumo de combustible para el 2014 en las siete rutas domésticas analizadas. Al analizar la Figura 2 se evidencia que existe una directamente relacionada entre el total de emisiones de CO₂ y el consumo de combustible de los aviones en las siete rutas domésticas regulares del aeropuerto José Joaquín de Olmedo. Se observa que a mayor consumo de combustible fósil (Ruta Quito, 62.763.372 kg) mayores son las emisiones de CO₂ (Ruta Quito, 164.479.360 kg) y que a menor consumo de combustible (Ruta Latacunga, 394.594 kg) menores son las emisiones de CO₂ (Ruta Latacunga, 698.227 kg).

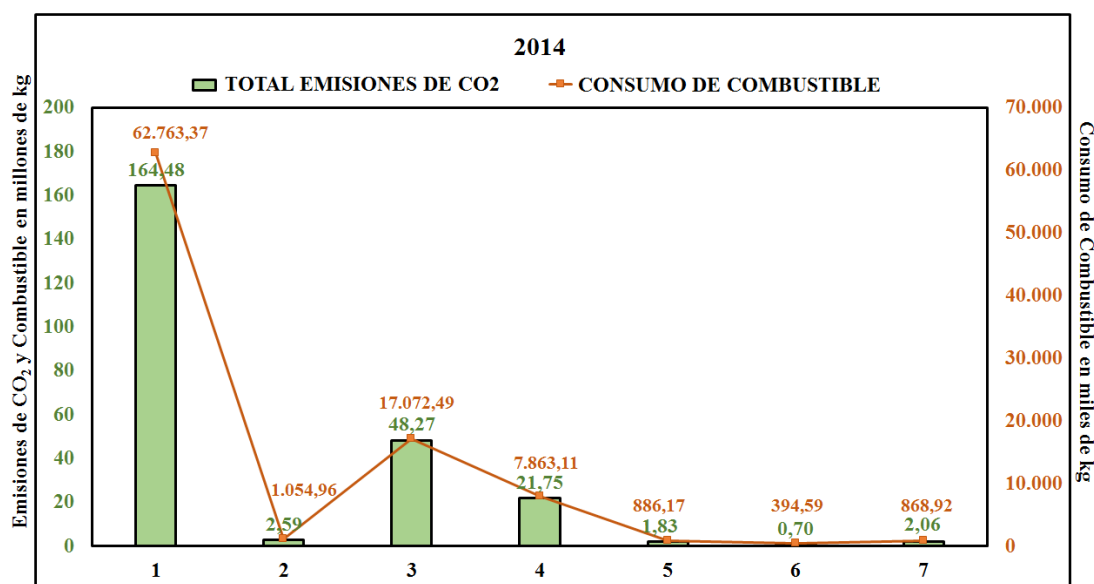


Figura 2.- Totales de emisiones de CO₂ y consumo de combustible en 2014 para las siete rutas domésticas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

Ruta Quito: GYE-UIO-GYE, Ruta Baltra: GYE-GPS-GYE, Ruta San Cristóbal: GYE-SCY-GYE, Ruta cuenca: GYE-CUE-GYE, Ruta Loja: GYE-LOH-GYE, GYE-ESM-GYE; Ruta Latacunga: GYE-LTX-GYE.
Elaboración propia.

En la Tabla 8 se observa la información que se utilizó para aplicar las ecuaciones de Nivel 3 del IPCC y obtener los resultados de las emisiones de CO₂ y HdeC para cada ruta aérea domestica regular nacional.

Las Rutas Baltra y San Cristóbal consumen más combustible fósil por vuelo (11.299kg y 10.017kg, respectivamente; ver Anexos 4 y 5 para cálculos detallados) que la Ruta Quito (4.548kg; ver Anexo 3). Sin embargo, la ruta Quito en el año 2014 consumió más combustible fósil sumando todos los vuelos realizados en esa ruta y emitió más CO₂ a la atmosfera (ver Tabla 8). Estos resultados se deben a la frecuencia de vuelos que realizaron cada una de estas rutas: la frecuencia de vuelos de las Rutas Baltra y San Cristóbal fueron de 1.511 y 785 vuelos, respectivamente, mientras la Ruta Quito realizó 13.799 vuelos (ver Tabla 8).

La Figura 3 muestra la relación directa que existe entre las emisiones de CO₂ a la atmosfera y los kilómetros recorridos en cada ruta aérea doméstica regular nacional. En 2014 fue la Ruta Quito la que más distancia recorrió (7.506.656 km) y la que más CO₂ emitió (164.479.360 kg) y la Ruta Latacunga fue la que menos distancia recorrió (202.356 km) y la que menos CO₂ emitió a la atmosfera (698.227 kg).

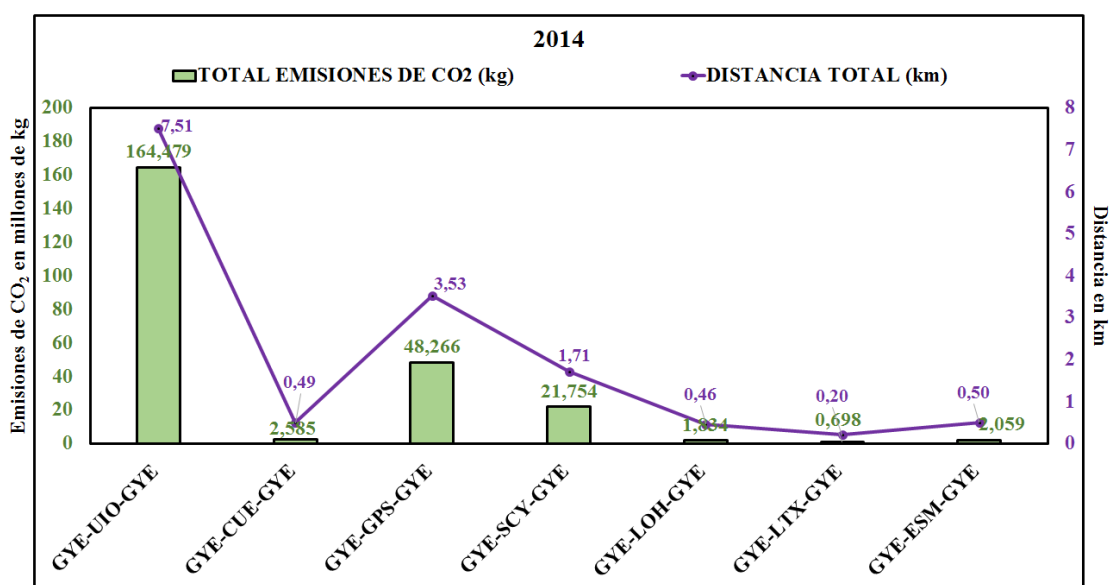


Figura 3.- Totales de emisiones de CO₂ y distancia recorrida en 2014 para las siete rutas domésticas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

Ruta Quito: GYE-UIO-GYE, Ruta Baltra: GYE-GPS-GYE, Ruta San Cristóbal: GYE-SCY-GYE, Ruta cuenca: GYE-CUE-GYE, Ruta Loja: GYE-LOH-GYE, GYE-ESM-GYE; Ruta Latacunga: GYE-LTX-GYE.
Elaboración propia.

Tabla 8.- Datos usados y resultados de aplicar la metodología IPCC-Nivel 3 para estimar emisiones de CO₂ en la atmosfera y la Huella de Carbono para las rutas domésticas de vuelos desde el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, durante 2014 y 2015.

2014								
Ruta	# Vuelos al año	# Pasajeros al año	Distancia Recorrida (km. año ⁻¹)	Total Combustible (kg. año ⁻¹)	Asientos Disponibles al año	Masa Total Transportada (kg. año ⁻¹)	CO ₂ Calculado (kg. año ⁻¹)	HdeC (kg. año ⁻¹ . pasajero ⁻¹)
GYE-UIO-GYE	13.799	1.657.447	7.506.656	62.763.372	627	3.538	164.479.360	99,24
GYE-CUE-GYE	1.894	71.278	488.652	1.054.958	4.375	224	2.585.435	36,27
GYE-GPS-GYE	1.511	200.702	3.526.674	17.072.487	1.241	1.889	48.265.765	240,48
GYE-LOH-GYE	1.090	34.696	459.980	886.170	6.342	111	1.833.872	52,86
GYE-SCY-GYE	785	85.450	1.711.300	7.863.110	3.057	642	21.754.398	254,59
GYE-ESM-GYE	718	26.027	499.728	868.924	6.416	111	2.059.143	79,12
GYE-LTX-GYE	511	13.826	202.356	394.594	9.560	73	698.227	50,50
Total anual	20.308	2.089.426	14.395.346	90.903.615	31.618	6.589	241.676.199	116,15
2015								
Ruta	# Vuelos al año	# Pasajeros al año	Distancia Recorrida (km. año ⁻¹)	Total Combustible (kg. año ⁻¹)	Asientos Disponibles al año	Masa Total Transportada (kg. año ⁻¹)	CO ₂ Calculado (kg. año ⁻¹)	HdeC (kg. año ⁻¹) por pasajero
GYE-UIO-GYE	11.401	1.461.235	6.202.144	51.856.308	836	2.624	145.386.307	99,50
GYE-CUE-GYE	1.926	64.710	496.908	1.072.782	6637	111	2.350.715	36,33
GYE-GPS-GYE	1.619	203.328	3.778.746	18.292.757	809	2.689	49.007.030	241,02
GYE-LOH-GYE	1.120	33.577	472.640	910.560	7.104,00	101	1.780.605	53,03
GYE-SCY-GYE	758	82.285	165.244	7.592.659	1.821,00	998	20.979.274	254,96
GYE-LTX-GYE	749	23.166	296.604	578.378	6.525,00	130	1.162.473	50,18
GYE-ESM-GYE	726	26.985	505.296	878.605	6.810,00	102	2.136.139	79,16
Total anual	18.299	1.895.286	11.917.582	81.182.049	30.542	6.755	222.802.543	116,30

Elaboración propia

Los pasajeros que se movilizan en la Ruta Cuenca se transportan en un avión modelo ATR 42-500 (ver Tabla 4), con capacidad para transportar 48 pasajeros, el cual es considerado una nave pequeña. Además, este modelo de avión consume escaso combustible por vuelo (557 kg por vuelo; ver Anexo 6) pero tiene una significativa aportación en frecuencias de vuelos (1.894 vuelos anuales; ver Tabla 8). Por lo tanto, la Ruta Cuenca fue la cuarta ruta en consumir combustible fósil (1.054.958 kg) y en emitir CO₂ a la atmosfera (2.585.435 kg; ver Figura 3).

Las Rutas Baltra y San Cristóbal recorren grandes distancias por vuelo en comparación con la Ruta Quito. Sin embargo, la Ruta Quito en 2014 recorrió mayor cantidad de kilómetros en total (ver Figura 3) que las rutas Baltra y San Cristóbal debido a la mayor frecuencia de vuelos (Baltra 1.511, San Cristóbal 785 y Quito 13.799 vuelos; ver Tabla 8). En 2014 la Ruta Cuenca emitió 2.585.435 kg CO₂ a la atmosfera, recorrió 488.652 km (557 km por vuelo) en 1.894 vuelos. La ruta Latacunga emitió mucho menos CO₂, 698.227 kg, porque recorrió tan sólo 202.356 km (772,20 km por vuelo) con bajas frecuencias de vuelos, 511 (ver Tabla 6 y Figura 3).

La Figura 4 muestra que en 2014 la Ruta Quito tuvo la menor cantidad de asientos disponibles (627) emitiendo más CO₂ a la atmosfera (164.479.360 kg). Latacunga fue la ruta con mayor cantidad de asientos disponibles (9.560) emitiendo menos CO₂ (698.227 kg). Por consiguiente, existe una relación directa entre las emisiones de CO₂ a la atmosfera y la cantidad de asientos disponibles de las rutas aéreas domésticas regulares nacionales, las cuales están asociadas a la carga en peso del vuelo.

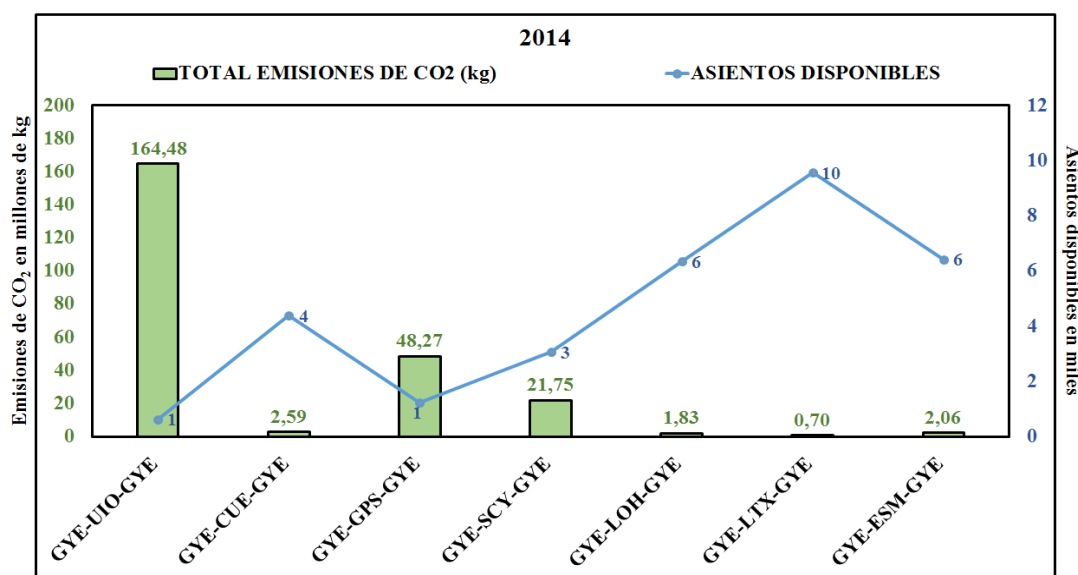


Figura 4.- Totales emisiones de CO₂ y disponibilidad de asientos en 2014 para las siete rutas domésticas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

Ruta Quito: GYE-UIO-GYE, Ruta Baltra: GYE-GPS-GYE, Ruta San Cristóbal: GYE-SCY-GYE, Ruta Cuenca: GYE-CUE-GYE, Ruta Loja: GYE-LOH-GYE, GYE-ESM-GYE; Ruta Latacunga: GYE-LTX-GYE.
Elaboración propia.

Un análisis similar se hace para comparar emisiones de CO₂ con cantidad de pasajeros transportados. Al relacionar las emisiones de CO₂ con el número de pasajeros se evidencia que a mayor número de pasajeros transportados (Quito, 13.799 pasajeros) mayores serán las emisiones de CO₂ hacia la atmosfera (Quito, 164.479.360 kg) y a menor número de pasajeros movilizados ocurre todo lo contrario (Latacunga, 511 pasajeros y 698.227 kg): la relación entre las emisiones de CO₂ y la cantidad de pasajeros transportados es directamente relacionada (ver Figura 5 y Anexo 3).

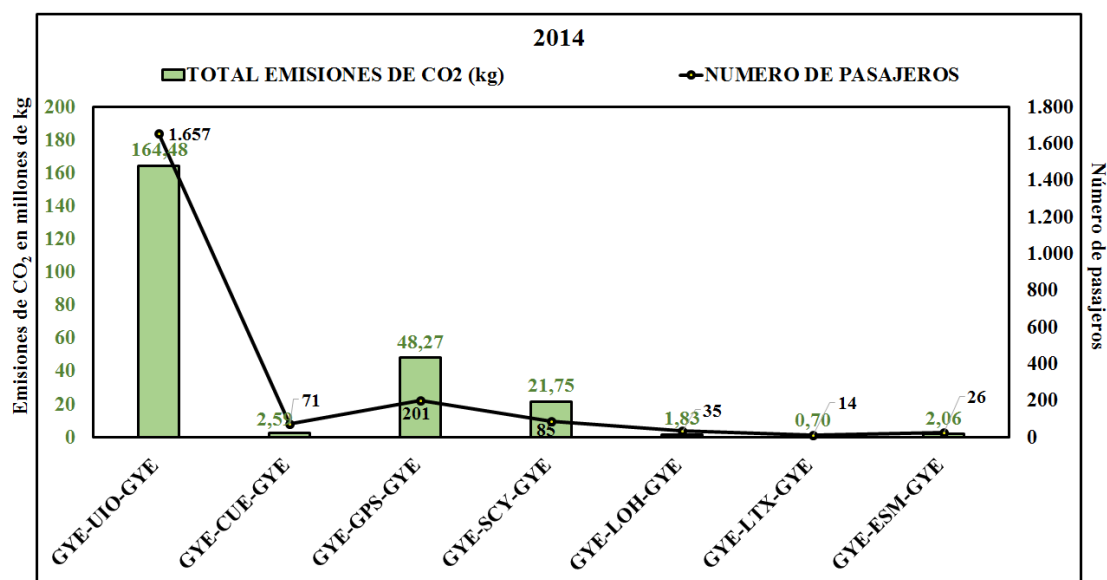


Figura 5.- Totales emisiones de CO₂ y número de pasajeros en 2014 para las siete rutas aéreas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

Ruta Quito: GYE-UIO-GYE, Ruta Baltra: GYE-GPS-GYE, Ruta San Cristóbal: GYE-SCY-GYE, Ruta cuenca: GYE-CUE-GYE, Ruta Loja: GYE-LOH-GYE, GYE-ESM-GYE; Ruta Latacunga: GYE-LTX-GYE
Elaboración propia.

La relación entre las emisiones de CO₂ y la masa transportada, también se analiza considerando la carga y correo. En la Figura 6 se evidencia que a mayor masa transportada (Quito, 3.538 kg) mayores son las emisiones de CO₂ (Quito, 164.479.360 kg) y a menor masa transportada (Latacunga, 73 kg) menores son las emisiones (Latacunga, 698.227 kg). Se comprueba que existe una relación directa entre la masa transportada y las emisiones de CO₂.

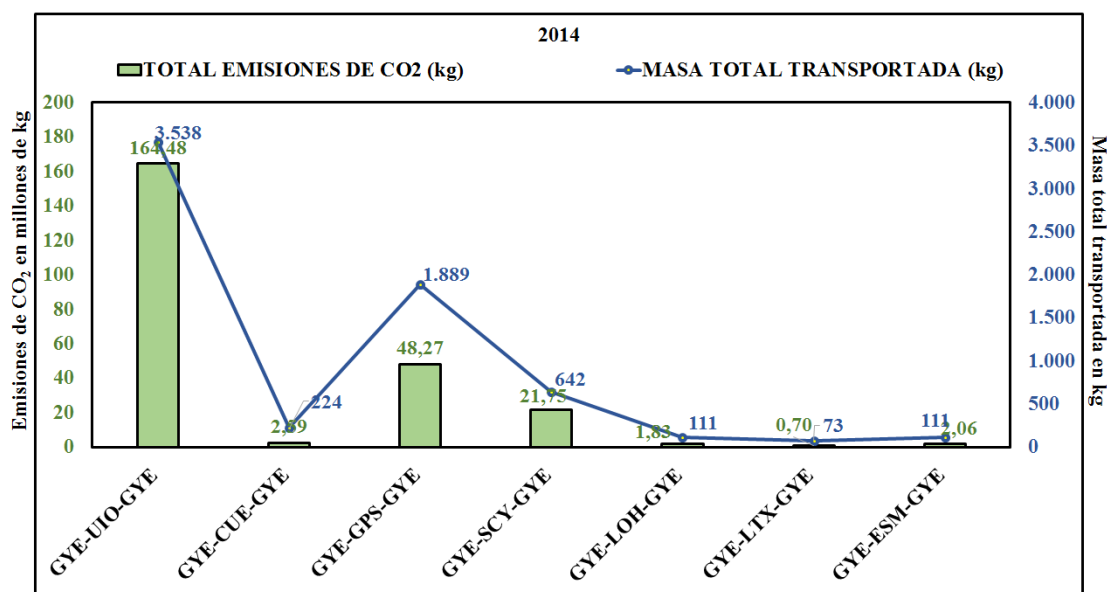


Figura 6.- Totales emisiones de CO₂ a la atmósfera y masa transportada en 2014 para las siete rutas aéreas regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

Ruta Quito: GYE-UIO-GYE, Ruta Baltra: GYE-GPS-GYE, Ruta San Cristóbal: GYE-SCY-GYE, Ruta cuenca: GYE-CUE-GYE, Ruta Loja: GYE-LOH-GYE, GYE-ESM-GYE; Ruta Latacunga: GYE-LTX-GYE

Elaboración propia.

5.2 Estimación de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) y de la Huella de Carbono (HdeC) de rutas domésticas del aeropuerto José Joaquín de Olmedo.

Utilizando la metodología del IPCC-Nivel 3 se estimaron las emisiones de CO₂ y la HdeC generadas por el tráfico aéreo regular nacional del aeropuerto José Joaquín de Olmedo en Guayaquil, Ecuador. El Nivel 3 de la metodología del IPCC (1996 y 2006) estima tanto las emisiones de CO₂ como las de la HdeC.

Para estimar las emisiones de CO₂ se usan las ecuaciones de la Tabla 4 y la información proporcionada por la Dirección de Aviación Civil del Ecuador (DAC, 2014 y 2015) acerca del consumo de combustible (kg) de las aeronaves, cantidad de movimientos (origen y destino), cantidad de pasajeros por vuelo, cantidad de asientos ofertados, peso de la mercancía transportada (kg) y peso del correo (kg).

Se conoce que en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil se efectivaron en las siete rutas **20.308** vuelos nacionales en 2014 y **18.299** vuelos en 2015 (entrantes y salientes), transportando un total de **2.089.426** y **1.895.286** pasajeros, respectivamente (DAC, 2014 y 2015; ver Tabla 5), con un total peso entre mercadería y correo de **6.598** y **6.755** kg. La información anual usada para realizar los cálculos de las emisiones de CO₂ y de la HdeC se detallan en la Tabla 6 (ver del Anexos 3 al Anexo 16 para los detalles). Los resultados de las emisiones de CO₂ y la HdeC que se obtuvieron en 2014 son similares a los obtenidos en 2015. Por lo tanto, en este capítulo se discuten sólo los resultados del año 2014.

5.2.1 Ruta Quito

La Ruta Quito (GYE-UIO-GYE) es la más frecuente por número de vuelos domésticos regulares que despegan y aterrizan en el aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil. En 2014, la Ruta **Quito** realizó 13.799 vuelos (68% del total de los vuelos domésticos regulares) transportando a 1.657.447 pasajeros (79% del total de pasajeros). Por lo tanto, si la distancia entre Quito y Guayaquil es de 544 km (recorridos en un tiempo de vuelo de 19 minutos), el recorrido total fue de 7.506.656 km; con un consumo de 62.763.372 kg de combustible fósil. Aplicando el método del IPCC-Nivel 3 se obtiene que se emitieron **164.479.360 kg** de CO₂ al año y la HdeC por pasajero fue de **99,24 kg** para el 2014 (ver Tabla 6 y Anexo 3).

En la Figura 7 se observa que a mayores emisiones de CO₂ (octubre con 14.777.554 kg) la HdeC es menor (octubre con 98,64 kg) y, a menores emisiones de CO₂ (junio con 128.919 kg) la HdeC es mayor (junio con 99,79 kg). Por consiguiente, las emisiones de CO₂ y la HdeC están inversamente relacionadas (ver Anexo 3). La planificación de vuelos diarios en esta ruta se mantiene constante a través de las diferentes semanas del año. Considerando que a mayor peso mayor emisiones de CO₂, se concluye que la mayor cantidad de emisiones ocurre cuando el avión transporta mayor número de pasajeros; y que, la HdeC es la relación entre emisiones de CO₂ y número de pasajeros; por lo tanto, a mayor cantidad de pasajeros mayor emisiones de CO₂, por el mayor peso transportado y resultando una menor HdeC.

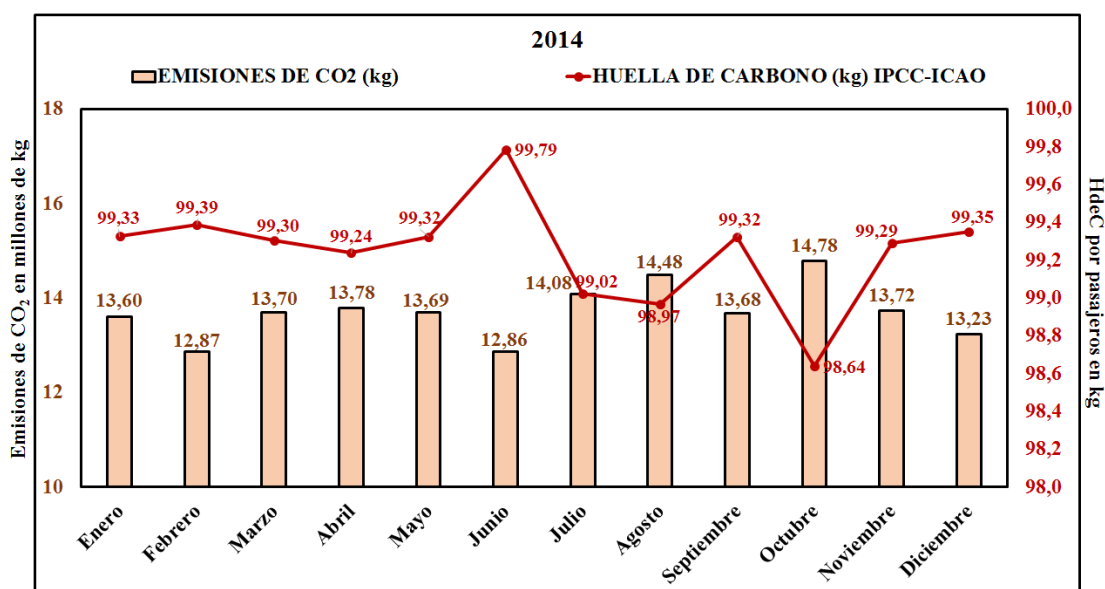


Figura 7.- Huella de Carbono y emisiones de CO₂ para la Ruta Quito del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil durante 2014.

Elaboración propia.

5.2.2 Rutas Galápagos.

Las rutas hacia las Islas Galápagos llegan a dos islas diferentes: la isla de Baltra y la isla de San Cristóbal. Estas dos rutas tienen una distancia recorrida por vuelo que sobrepasan los 2.000 km (2.334 km entre Guayaquil y Baltra; y 2.180 entre Guayaquil y San Cristóbal) y son la segunda y tercera ruta más frecuentes por número de pasajeros transportados desde el aeropuerto José Joaquín de Olmedo. En esta investigación se analizan las Ruta Baltra y la Ruta San Cristóbal en conjunto, denominándolas Ruta Galápagos.

Las rutas **Galápagos** en 2014 realizaron 2.296 vuelos (11% del total de vuelos domésticos regulares) y transportaron 286.152 pasajeros (14% del total de pasajeros). Por otro lado, la distancia total recorrida entre las dos rutas que van a los Galápagos fue de 5.237.974 km y el total de combustible fósil consumido de 24.935.597 kg. En base a estos datos se obtuvo que las emisiones de CO₂ a la atmosfera fue de **70.020.163 kg** y la HdeC de **244,78 kg por pasajero** (ver Tabla 8, Anexo 4 y Anexo 5, para mayor detalle de los cálculos).

La Figura 8 es equivalente a la Figura 7 pero para las Rutas Galápagos. En ella se corrobora la relaciona inversamente proporcional entre la HdeC y las emisiones de CO₂, por razones similares a las ya expuestas. En esta Figura también se evidencia que a mayor emisión de CO₂ a la atmosfera (marzo, 7.328.321 kg; ver Tabla 8; Anexo 5 y Anexo 7) la HdeC es menor (marzo, 243.13 kg).

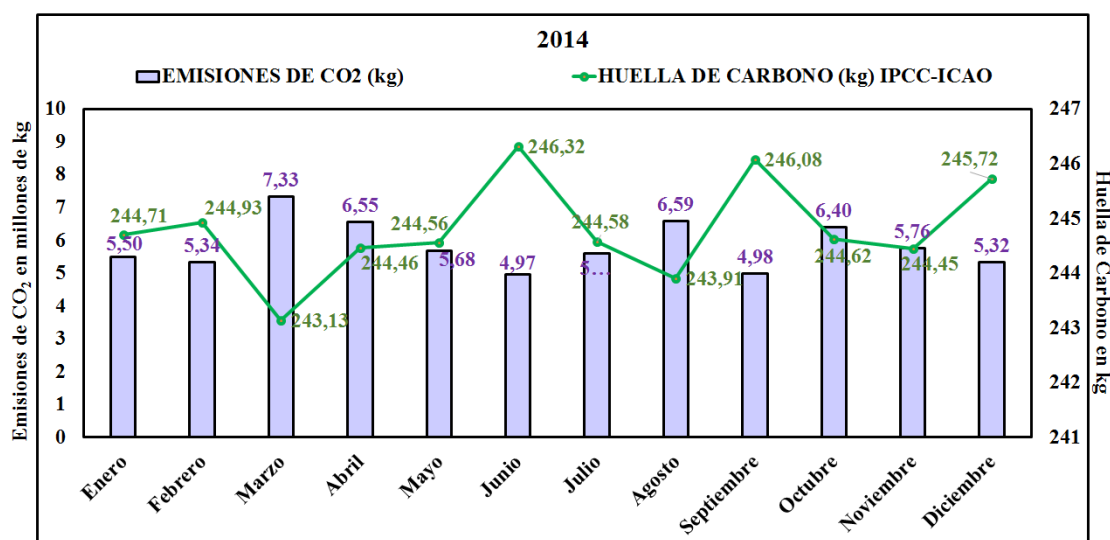


Figura 8.- Huella de Carbono y emisiones de CO₂ para las Rutas Galápagos del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil durante 2014.
Elaboración propia.

La HdeC en la Ruta Galápagos es mayor que la de la Ruta Quito porque el número de pasajeros de la Ruta de Quito es mayor. Las dos rutas asociadas a las islas Galápagos recorren mayor cantidad de kilómetros por vuelo que la Ruta Quito, consumiendo más combustible fósil por vuelo; sin embargo, la mayor frecuencia de vuelos de la Ruta Quito produce que el total de kilómetros recorridos al año sea mucho mayor, generando mayor emisiones de CO₂, con el atenuante que la cantidad de pasajeros es mayor y por consiguiente, los aviones llevan mayor peso (ver Figura 9). Las emisiones de CO₂ emitidas por la ruta Quito es 235% mayor que las emisiones de las Rutas Galápagos (ver Tabla 8). El consumo de combustible fósil de la Ruta Quito es 252% mayor que el consumo de la Ruta Galápagos.

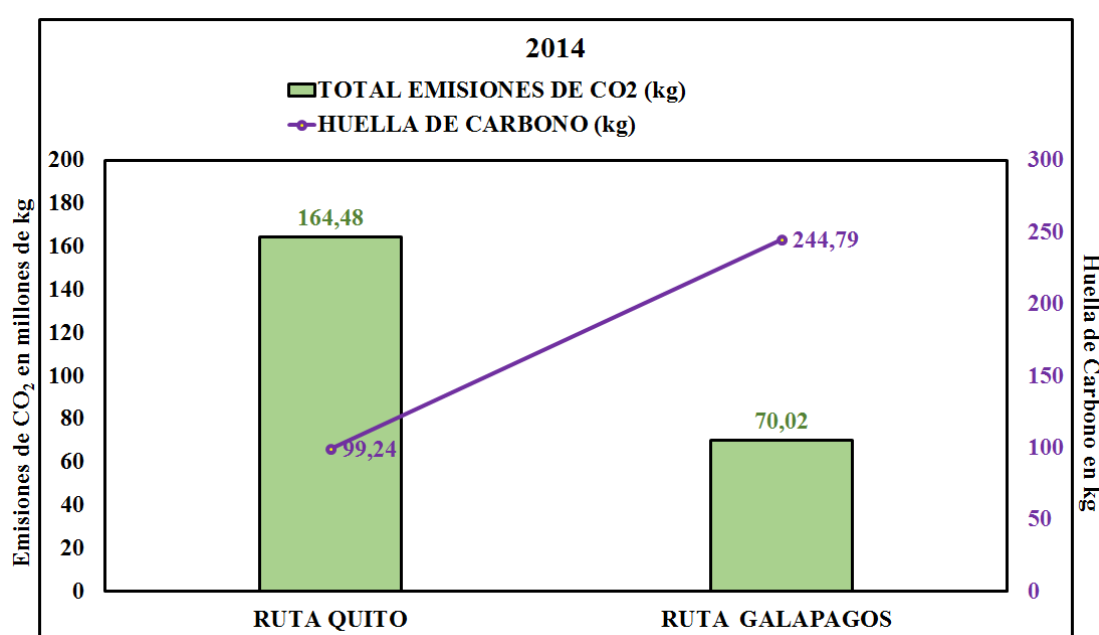


Figura 9.- Comparación de la Huella de Carbono y las emisiones de CO₂ entre la Ruta Quito y las Rutas Galápagos del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, en 2014. Elaboración propia.

Corroborando lo expuesto, en la Figura 10 se analiza la relación de la HdeC y la cantidad de pasajeros entre la Ruta Quito y la Ruta Galápagos, observando que la HdeC disminuye al haber mayor cantidad de pasajeros transportados.

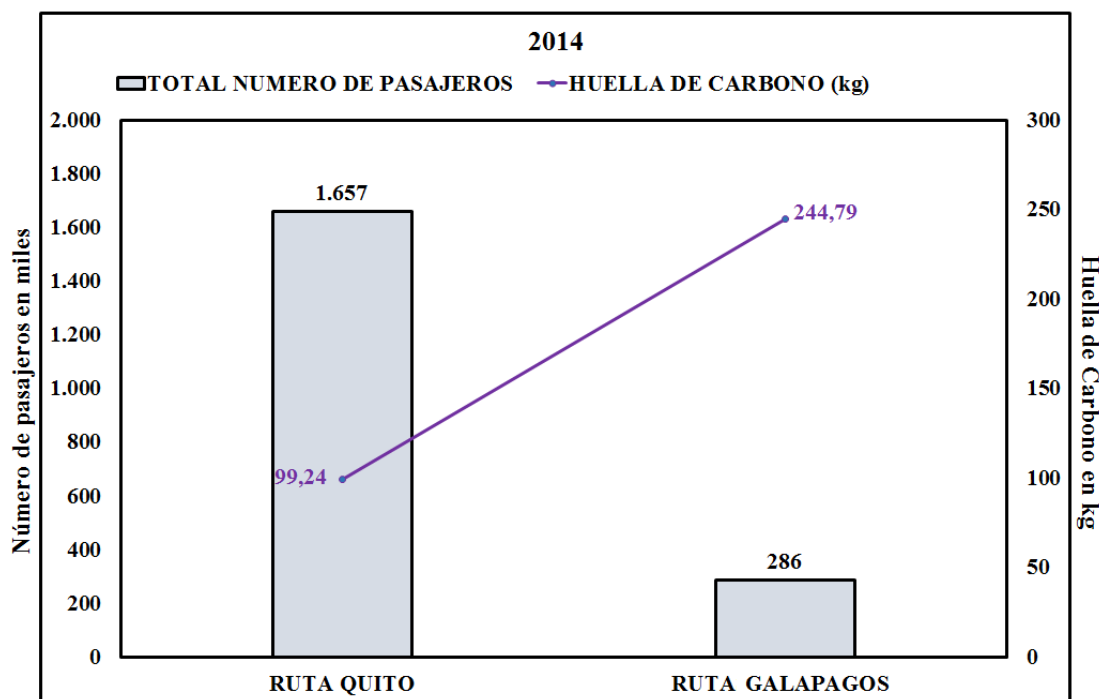


Figura 10.- Comparación de la Huella de Carbono y cantidad de pasajeros entre la Ruta Quito y las Rutas Galápagos del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, en 2014. Elaboración propia.

5.2.3 Rutas Menores

Las Rutas Menores está conformada por las cuatro rutas que transportan menor cantidad de pasajeros desde el aeropuerto de Guayaquil: Ruta Cuenca, Ruta Loja, Ruta Esmeraldas y Ruta Latacunga. Estas rutas transportan en total 145.827 pasajeros que representan el 7% del total de pasajeros transportados desde ese aeropuerto (ver Tabla 8) y recorren distancias menores a 700 km desde Guayaquil: 258 km a Cuenca, 422 km a Loja, 696 km a Esmeraldas y 396 km a Latacunga.

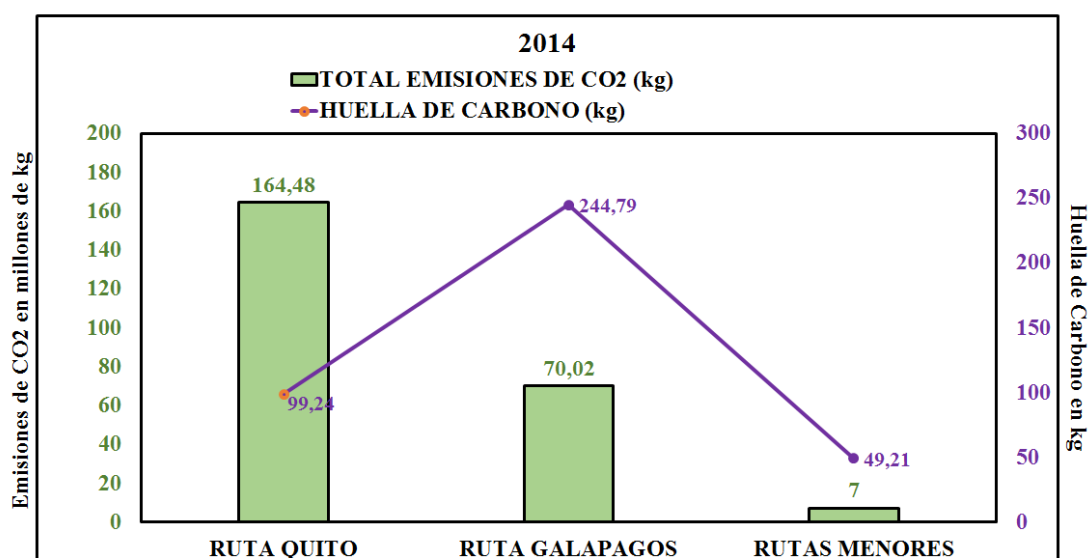
En 2014, estas cuatro Rutas **Menores** realizaron 4.213 vuelos (21% del total de los vuelos domésticos regulares) para movilizar 145.827 pasajeros. Por consiguiente, la distancia total recorrida en estas cuatro rutas suma 1.162.064 km al año, con un consumo total de combustible de 3.204.646 kg. De aquí se obtiene que en 2014 las cuatro rutas emitieron **7.176.676 kg** de CO₂ hacia la atmosfera para obtener una HdeC de 49,21 **kg por pasajero** (ver Tabla 8, Anexo 6, Anexo 7, Anexo 8 y Anexo 9). La Tabla 9 resume el combustible consumido por ruta, la distancia recorrida y los tiempos de vuelo de cada recorrido.

Tabla 9.- Consumo de combustible, distancia recorrida y tiempo de vuelo de las Rutas Menores

Ruta aérea	Combustible (kg por vuelo)	Distancia (km por tramo)	Tiempo de Vuelo de una vía (min)
Ruta Cuenca	557	258	15
Ruta Lonja	813	422	19
Ruta Esmeralda	1.210,20	696	27
Ruta Latacunga	772, 20	396	16

Elaboración propia.

En la Figura 11 se comparan la HdeC y las emisiones de CO₂ de la Ruta Quito, Ruta Galápagos y Rutas Menores. La Figura 10 evidencia que la Ruta Quito fue la que más emitió CO₂ a la atmósfera en el 2014, por la alta frecuencia de vuelos anuales de esta ruta y por transportar la mayor cantidad de pasajeros que hace que la HdeC disminuya. Las Rutas Menores emitieron relativamente poco CO₂ y generaron la menor HdeC. Mientras, la Ruta Galápagos fue la que generó mayor HdeC por pasajero. Este alto valor de HdeC frente al de la Ruta de Quito queda establecido por la diferencia en la cantidad de pasajeros transportados en ambas rutas: los pasajeros de la Ruta de Quito son 5,79 veces mayor que los transportados en la Ruta Galápagos, mientras las emisiones de CO₂ en la Ruta de Quito fueron tan solo 2,35 veces mayor que la de las Rutas de Galápagos.

**Figura 11.-** Comparación de la Huella de Carbono y emisiones de CO₂ entre la Ruta Quito, Rutas Galápagos y Rutas Menores del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil, en 2014. Elaboración propia.

5.3 Comparación del total de emisiones de CO₂ y Huella de Carbono de las rutas domésticas regulares del aeropuerto Guayaquil de los años 2014 y 2015

Las emisiones totales de CO₂ hacia la atmósfera de las siete rutas domésticas regulares del aeropuerto José Joaquín de Olmedo en 2014 fueron de 241.676.199 kg, con una HdeC de 116,15 kg por pasajero. En el año 2015 las emisiones de CO₂ fueron menores (222.802.543 kg) y la HdeC un poco mayor (116,30 kg por pasajero), porque el número de pasajeros transportados en el 2014 fue un poco mayor que en el 2015 (ver Tabla 6). Resumiendo, las siete rutas aéreas nacionales regulares del aeropuerto de Guayaquil en 2014 y 2015, emitieron cantidades similares de CO₂ a la atmósfera con HdeC semejantes. La suma de las emisiones de CO₂ para los dos años de estudio fue de 464.478.742 kg con una HdeC de 116,57 kg por pasajeros (ver Figura 12).

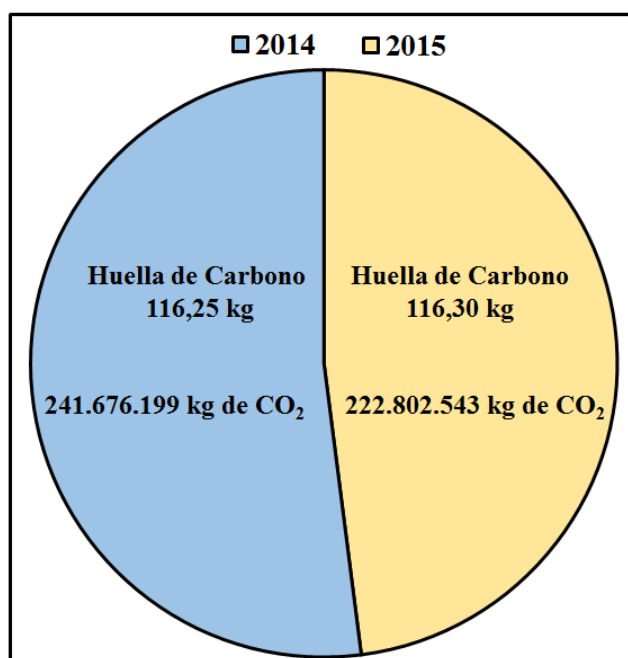


Figura 12.- Totales emisiones de CO₂ y Huella de Carbono generadas por el tráfico aéreo de siete rutas domésticas regulares del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil durante los años 2014 y 2015.

Elaboración propia.

La distribución de las emisiones totales de CO₂ para el 2014 de los vuelos de las rutas domésticas del aeropuerto José Joaquín de Olmedo, están fraccionadas de la siguiente manera: Ruta Quito con el 68% de las emisiones (164.479.360 kg), Ruta Galápagos con 29% de las emisiones (70.020.163 kg) y las Rutas Menores con 3% (7.176.677 kg). Para el 2015 se hizo un análisis similar que denota que el comportamiento de la distribución de las emisiones totales de CO₂ para ese año es equivalente al del año

2014, pero con una pequeña variación en el número de vuelos en la Ruta Quito y la Ruta Galápagos (ver Figura 13).

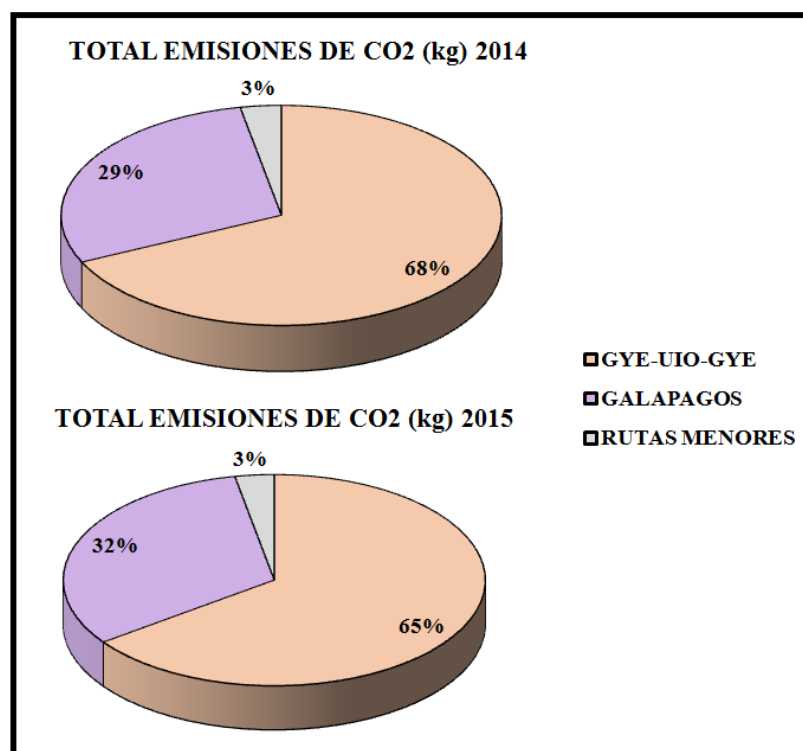


Figura 13.- Comparación de la distribución de la emisiones totales anuales de CO₂ para los años 2014 y 2015, generadas por las rutas domésticas regulares del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil.

Elaboración propia.

En 2016 la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Ecuador, informó mediante un inventario nacional de gases de efecto invernadero, que para el 2010 las emisiones de CO₂ emitidas a la atmosfera fueron de 77.679.080 Mkg. El transporte representa el 19% de emisiones de CO₂ con 15.067.640 Mkg, de los cuales a la aviación le correspondería al 4% (602.705 Mkg).

Al analizar los resultados obtenidos de las emisiones de CO₂ en los años 2014 y 2015 de los vuelos domésticos regulares nacionales del aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil: 241.676.199 y 222.802.543 kg, respectivamente, frente a los valores reportados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Ecuador para el año 2010 (602.705 Mkg), se establece que las emisiones desde este aeropuerto para el 2014 representan el 40% de las emisiones aeronáuticas nacionales del año 2010 y, representando el 0,69% de las emisiones del sector Energía para el 2010.

Se destaca que el aeropuerto José Joaquín de Olmedo es el segundo aeropuerto más importante a nivel nacional y que según la Tercera Comunicación el incremento

interanual de consumo de combustible es de 5,7%, por lo cual este valor de las emisiones de GEI asociada al transporte aéreo serán superiores al valor reportado para el 2010, concluyendo que el valor de 40% tiene una sobre estimación.

6 CONCLUSIONES

- A nivel mundial, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas a la atmosfera y la Huella de Carbono por pasajero producidas por el tráfico aéreo se estiman aplicando la metodología propuesta por la Organización Internacional de Aviación Civil (International Civil Aviation Organization-ICAO). El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) para los inventarios de transporte aéreo de gases de efecto invernadero adopta esta metodología en los años 1996 y 2006 en su Manual de Directrices.
- El Nivel 3 del IPCC estima las emisiones de CO₂ y la Huella de Carbono, en base al consumo de combustible de las aeronaves con motores a reacción en las fases de aterrizaje-despegue y en la fase de crucero, frecuencia de vuelos según origen y destino, número de pasajeros y asientos ofertados, peso de la mercancía transportada y peso del correo. El Nivel 2 del IPCC estima las emisiones de CO₂ a la atmosfera sólo en base al consumo de combustible de las aeronaves con motores a reacción en las fases de aterrizaje y despegue.
- En esta investigación se probó que la metodología propuesta en el Nivel 3 del IPCC en los años 1996 y 2006 para estimar las emisiones de CO₂ y la Huella de Carbono genera estimados aceptados por el Carbon Emissions Calculator del ICAO, con diferencias de los resultados entre ambas metodologías menores al 0,5 %. La metodología Nivel 3 del IPCC es adecuada para estimar las emisiones de CO₂ y la Huella de Carbono.
- En esta investigación se probó que la metodología propuesta para estimar las emisiones de CO₂ en el Nivel 2 del IPCC para los años 1996 y 2006 tiene bajo nivel de precisión, al presentar diferencias promedios de 13,15% con respecto a los resultados obtenidos con la Carbon Emissions Calculator del ICAO: esta diferencia resultó ser menor a la encontrada por Herrera y Vales (2013) - 24%.
- Las emisiones de CO₂ están directamente relacionadas con el consumo total de combustible, la distancia recorrida, la cantidad de asientos disponibles, la cantidad de pasajeros transportados y la masa total transportada (cantidad de pasajeros, peso de mercancía y peso de correo).
- Se obtuvieron valores similares de emisiones de CO₂ a la atmosfera y de Huellas de Carbono generados por el tráfico aéreo del aeropuerto de Guayaquil en los años 2014 y 2015. En base a que la planificación semanal de las salidas y entradas de los aviones se mantiene a través del año, se concluye que las emisiones de CO₂ y la Huella de Carbono están inversamente relacionadas entre sí, dado que la Huella de Carbono es la relación de emisiones de CO₂ entre número de pasajeros.

- El aeropuerto José Joaquín de Olmedo de Guayaquil es un aeropuerto importante en la República de Ecuador al ser el segundo aeropuerto con más tráfico aéreo regular nacional, con siete rutas regulares nacionales que aterrizan y despegan de Guayaquil: Ruta Quito; Baltra y San Cristóbal (agrupadas como Ruta Galápagos); Cuenca, Loja, Esmeraldas y Latacunga (agrupado como Rutas Menores) con un total de 20.308 vuelas para el 2014 y 18.899 para el 2015.
- Al comparar las emisiones de CO₂ por la actividad aeronáutica doméstica en 2014 del Aeropuerto José Joaquín de Olmedo (241.676.199 kg) con los valores reportados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Ecuador para el año 2010 en el sector transporte aéreo nacional (602.705 Mkg), se establece que las emisiones desde este aeropuerto para el 2014 representan el 40% de las emisiones aeronáuticas y el 0,69% de las emisiones del sector Energía nacionales para el 2010.
Se destaca que el incremento interanual de consumo de combustible nacional es de 5,7% y por lo tanto este total del 2014 debería ser superior al valor reportado para el 2010.
- La ruta aérea con más frecuente de vuelos es la Ruta Quito movilizand el 79% de pasajeros de los vuelos domésticos. Esta ruta en 2014 fue la que más aportó emisiones de CO₂ a la alta troposfera (68% del total de emisiones) pero su huella de carbono ocupó el segundo lugar entre las rutas analizadas. La segunda ruta frecuente por el número de vuelos es la Ruta Galápagos, pero esta ruta es la que presenta mayor huella de carbono por su largo recorrido y por no volar siempre a vuelo lleno y transportar alta carga.
- La distribución porcentual de las emisiones totales de CO₂ en las rutas aéreas del aeropuerto de Guayaquil en 2014 fue de 68% Ruta Quito, 29% Ruta Galápagos y 3% Rutas Menores. En 2015 los resultados porcentuales obtenidos fueron similares.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las próximas Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático contemplen el inventario de emisiones de CO₂ por tráfico aéreo regular nacional en base a los dos aeropuertos más importantes: Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito y Aeropuerto José Joaquín de Olmedo, Guayaquil.
- Dada la dificultad para disponer de la información necesaria para hacer el inventario de emisiones del transporte aéreo se recomienda poner en práctica mecanismos para que la información del tráfico aéreo sea pública, al menos para fines de investigación científica.
- Se recomienda que estos resultados sean utilizados por la Sub Secretaria de Cambio Climático, para inventarios 2014 y 2015.

8 REFERENCIAS

- Alonso, G. y Ruiz, A. 2009. El Impacto Ambiental del Transporte Aéreo y las Medidas para Mitigarlo. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España, páginas 10-11
- Aguilera, F., 2015. Impacto De La Aviación Sobre El Medio Ambiente. Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Trabajo de Grado para obtener el Título de Ingeniería de las Tecnologías Industriales Sevilla, España, páginas 2 y 30.
- Bilan Carbone, 2010. Guía Metodológica: Objetivos y principios de contabilización. Versión 6.1 junio de 2010. Agencia de Medio Ambiente y Control de la Energía (ADEME), páginas 25 y 26.
- Benavides, H y León, G. 2007. Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales–IDEAM. Subdirección de Meteorológica, páginas 36-47
- Boiral, O., 2006. Corporate Response to Global Warming: For a Proactive Strategy, Int. J. Business and Economics Perspectives, 1(1), páginas 79-95.
- Bordero, J. y Rodríguez, T., 2012. Transporte Y Cambio Climático: Hacia Un Desarrollo Sostenible y de Bajo Carbono. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Revista Transporte y Territorio núm. 6, página 18.
- British Standards Institute (BSI), 2010. PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse emissions of goods and services, (2008). Reino Unido, Londres, páginas 9-17.
- Castro, P., 2006. Estimación de las Emisiones Contaminantes por Fuentes Móviles a Nivel Nacional y Formulación de Lineamientos Técnicos para el ajuste de las Normas de Emisión. Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Trabajo de grado para obtener el Título de Ingeniero Ambiental y Sanitaria. Bogotá D.C, Colombia. (220), páginas 2-5.
- Cisneros, J. 2008. Perturbaciones Climáticas y Esporádicas Causadas por los Aviones, XXX Jornadas científicas de la AME, Zaragoza, Valencia, páginas 3-20.
- Commission of the European Communities. 2008. Single European Sky II: towards more sustainable and better performing aviation, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, Bélgica, página 2.
- Constitución De La Republica Del Ecuador, 2008. Capítulo Segundo Derechos del buen vivir: Sección segunda del medio ambiente, artículo 86. Quito, Ecuador, página 136.
http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.PDF
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, páginas 2-7.

- Dirección General de Aviación Civil del Ecuador (DAC), 2014. Boletín Estadístico de Tráfico Aéreo, año 2014: Transporte Aéreo Estadístico. [Editores principales Santacruz, F., Ortiz, F. y Mantilla, F.] Quito-Guayaquil, Ecuador, páginas 1-274.
- Dirección General de Aviación Civil del Ecuador (DAC). 2015. Boletín Estadístico de Tráfico Aéreo, año 2015: Transporte Aéreo Estadístico. [Editores principales Santacruz, F., Ortiz, F. y Mantilla, F.] Quito-Guayaquil, Ecuador, páginas 1-265.
- Egli, R., 1990. Nitrogen Oxide Emissions from Air Traffic. *Chimia International Journal for Chemistry*. Vol. 44, Number 11, November 1990. Publisher: Swiss Chemical Society, páginas 369-371.
- Gallegos, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcinuño, R., Bravo, J., Pradana, J., Garcia, A. y Durand, J., 2012. Contaminación Atmosférica. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España, página 350.
- Herrera, A y Vales, N., 2013. Estimación de las emisiones de Gases Contaminantes Generadas por la actividad Aérea En México. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería. Secretaria de Comunicación y Transporte, Institución Mexicana del Transporte y Estudios Unidos Mexicanos. Publicación Técnica No. 384, Sanfandila, Qro, 2013, páginas 9-17.
- Hidalgo, D., 2012. Estudio de Huella de Carbono que Aporta la Aviación de Pasajeros dentro del Territorio Colombiano. Caso de estudio: Aeronaves Turborreactores. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial. Trabajo de Grado para obtener el Título de Magister en Ingeniería Industrial. Bogotá, Colombia, páginas 13 y 16.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1999. Aviation and the Global Atmosphere. [Editores: Penner, J., Lister, D., Griggs, D., Dokken, D. y McFarland, M.]. A Special Report of IPCC Working Groups I and III, Scientific Assessment Panel to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. ISBN: 92-9169, páginas 3-7.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Published: IGES. Hayama, Japón, páginas 5-18.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 3 Observations: Surface and Atmospheric Climate Change [Autores: Trenberth, K. y Jones, P.], páginas 237-244.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 1993. International Standards and Recommended Practices Environmental Protection – Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Volume II Aircraft Engine Emissions, 2nd edition (1993) International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada, página 362.

- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2011, Aviation and sustainability: Air Navigation Report. Toronto, Canada, páginas 1- 27.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2014. ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology. Version 7. Montreal, Canada, páginas 4-6.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 2016. Capacity y Efficiency: Air Navigation Report. Montréal, Canada, páginas 5-18.
- International Transport Forum (ITF), 2009, Reducing transport GHG emissions: opportunities and cost, Francia, página 89.
- Kavanaugh, M., 1988. New estimates of NO_x from aircraft: 1975-2025. Proc. 81st Annual Meeting of APCA (Air pollution Control Association). Dallas, Texas, June 14-19, 1988, paper 88-66, páginas 10-15.
- Ko, M., 1992. Ozone response to aircraft emissions: Sensivity Studies with two-dimensional Models, in Atmospheric Effects of Stratospheric Aircraft: A First Program Report, NASA Ref. Publ. 1272, página 198.
- Lee, D., Pitarib, G., Grewec, V., Gierensc, K., Pennerd, J., Petzoldc, A., Prathere, M., Schumannc, U., Baisf, A., Berntseng, T., Iachettib, D., Lima, L y Sausenc, R., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. Volume 44, Issue 37, December 2010. Transport Impacts on Atmosphere and Climate: The ATTICA Assessment Report, páginas 4678-4734.
- Ministerio del Ambiente (MAE), 2006. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Quito, Ecuador, páginas 76-77.
- Ministerio del Ambiente (MAE), 2010. Plan Nacional de la Calidad de Aire. [Editado por Espín, E., Ballesteros, F. y Padilla, P.] Quito, Ecuador, páginas 13-14.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2009. Grupo Sobre La Aviación Internacional y El Cambio Climático. Informe 2009. Montreal, Canada, páginas 8-10.
- Pandey, D., Agrawal, M. y Pandey, J., 2010. Carbon footprint: current methods of estimation, Environmental Monitoring and Assessment. España, Madrid, páginas 1-4 y 135-160.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 1996. Directrices del IPCC para los inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Capítulo I: Energía. Ginebra, Suiza, páginas 22-25.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 1999. Informe Especial del IPCC: La Aviación y La Atmosfera Global. Informe Especial de los Grupos de trabajo I y III del IPCC. Grupo de Evaluación científica del Protocolo de Montreal sobre las sustancias que agotan la capa de ozono. [Editado por: Penner, J., Lister, D., Griggs, D., Dokken, D. y McFarland, M.], ISBN: 92-9169. Hayama, Japón, páginas 6-10.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. [Autores: Waldron, C., Harnisch, J., Lucon, O.,

- Mckibbin, R., Saile, S., Wagner, F. y Walsh, M.]. Volumen 2, Capítulo III: Combustión móvil. Hayama, Japón, página 56.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 2007. Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III Al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R. y Reisinger, A]. Ginebra, Suiza, páginas 63-67.
 - Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 2014. Resumen de políticas. Cambio Climático 2014: Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III Al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Editor Eickemeier, P]. Revisado en 2015. Suiza, Europa, páginas 7-20.
 - Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 2014. Cambio climático 2014: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II Al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Suiza, Berna, páginas 1-4.
 - Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 2014. Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Editores: Edenhofer, Ottmar., Madrugá, R., Sokona, Y., Agrawala, S., Bashmakov, I., Blanco, G., Broome, J., Bruckner, T., Brunner, S., Bustamante, M., Clarke, L., Creutzig, F., Dhakal, S., Dubash, N., Eickemeier, P., Farahani, E., Fischesdick, M., Fleurbaey, M., Gerlagh, R., Gómez, L., Gupta, S., Harnisch, J., Jiang, K., Kadner, S., Kartha, S., Klasen, S., Kolstad, S., Krey, V., Kunreuther, H., Lucon, O., Masera, O., Minx, J., Mulugetta, Y., Patt, A., Ravindranath, N., Riahi, K., Roy, J., Schaeffer, R., Schlömer, S., Seto, K., Seyboth, K., Sims, R., Skea, J., Smith, P., Somanathan, E., Stavins, R., Stechow, C., Sterner, T., Sugiyama, T., Suh, S., Chika, K., Ürges-Vorsatz, D., Victor, D., Zhou, D., Zou, J. y Zwickel, T.] Revisado en febrero de 2015 por el IPCC, Suiza, Berna, páginas 6-28.
 - Pitchford, M., Hudson, J. Hallett, J., 1991. Size and Critical Supersaturation for Condensation of Jet Engine Exhaust Particles, J. Geophys. Res., 96 (D11), páginas 20787-20793.
 - Plan Nacional para el Buen Vivir, 2009. Objetivo 4: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable. Quito, Ecuador, páginas 217-218.
 - Plasmann, K., Norton, A., Attarzadeh, N., Jensen, M., Brenton, P y Jones, E., 2010. Methodological complexities of product carbon footprinting: a sensitivity analysis of key variables in a developing country context. New York, USA, páginas 393-404.
 - Prather, M., Wesoky, R., Miake-Lye, A., Douglass, R., Turco, D., Wuebbles, M. y Schmeltekopf, A., 1992. The atmospheric effects of stratospheric aircraft: A first program report. NASA Ref. Publ. New York, USA, páginas 1233-1272.

- Sausen, R., Isaksen, I., Grewel, W., Hauglustaine, D., Lee, D., Myhre, G., Köhler, M., Pitari, G., Schumann, U., Stordal, F. y Zerefos, C., 2005. Aviation radiative forcing in 2000: An update on IPCC (1999). *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 14, No. 4. Edited by Gebrüder Borntraeger. Moscú, Rusia, páginas 555-561.
- Santiago, F., 2015. Actualización de la huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito para el año 2015. Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Facultad de Ingeniería Ambiental. Trabajo de grado para obtener el Título de Ingeniero Ambiental. Quito, Ecuador, páginas 28-46.
- Schneider, H. y Samaniego, J., 2009. La Huella del Carbono en la Producción, Distribución y Consumo de Bienes y Servicios. Santiago de Chile, Chile, páginas 11-16.
- Schumann, U., 1993. Air Traffic and the Environment. Lect. Notes in Engrg, Vol. 60, Springer-V. Berlin, Alemania, páginas 370-372.
- Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático: Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático, 2011. Capítulo 2: Inventario Nacional De Gases De Efecto Invernadero, Capítulo 3: Mitigación Editorial Gráficas Arboleda. [Autores: Cáceres, L., y Núñez, A. 2011]. Quito, Ecuador, páginas 8-32.
- Solis, J y Sheinbaum, C., 2016. Consumo de Energía y Emisiones de CO₂ del Transporte en México y Escenarios de Mitigación. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Rev. Instituto de Contaminación Ambiental. México, 32 (1) páginas 7-23.
- Tarrasón, L., Jonson, J., Berntsen, T. y Rypdal, K., 2004. Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviation. European Commission, Report, 5 (3), páginas 20-30.
- Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático: Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2016. Capítulo 1: Circunstancias Nacionales, Capítulo 2: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2010, ISBN: 978-9942-22-069-1. [Autores: Cadilhac, R., Molina, R., Haunreiter, H., Villamar, P., Piedra, J., Velasco, P., Armijos, J. y Herrera, M., 2016]. Quito, Ecuador, páginas 17-34 y 54-68.
- Tirado, M., 2010. Actualización de Inventario de Emisiones Atmosféricas Producidas por Aviones Comerciales en el Aeropuerto el Dorado de Bogotá D.C y Políticas para Disminución del Impacto Ambiental. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería y Ambiental. Trabajo de grado para la obtención del título de Ingeniería Ambiental. Bogotá, Colombia, páginas 17-34.
- Greenhouse Gas Protocol, (2004). Edition A Corporate Accounting and Reporting Standard. WBCSD, c/o Earthprint Limited: USA. Triangle Park., NC, EPA-Inform 450. Nueva Zelanda, Wellington, páginas 4-81.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2008. "Compiling Air Toxics Emission Inventories" (recopilación de inventarios de emisiones tóxicas atmosféricas). Compilación de 1990. Estados Unidos, páginas 45-80

- Wiedmann, T. y Minx, J., 2008. A Definition of Carbon Footprint in: Pertsova C. C., Ecological Economics Research Trends, Nova Science Publishers. Durham, United Kingdom, páginas 1-11.
- Wittneben, B y Kiyar, D., 2009. Climate Change Basics for Management Decision. España, páginas 1122-1132.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), and World Resources Institute (WRI) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMARNAT), 2005. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. México, México, páginas 130-138.

9 ANEXOS

Anexo 1.- Factores de Emisiones LTO y consumo de LTO para Aeronaves comerciales grandes (IPCC, 2006).

	AERONAVE	Factores de emisión de LTO (kg/LTO/) ⁽¹⁾							CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LTO (kg/LTO)
		CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄ ⁽²⁾	N ₂ O ⁽³⁾	NO _x	CO	COVDM ⁽⁴⁾	SO _x ⁽⁵⁾	
Aviones comerciales grandes (v.o.)	A300	5450	0,12	0,2	25,86	14,80	1,12	1,72	1720
	A310	4760	0,63	0,2	19,46	28,30	5,67	1,51	1510
	A319	2310	0,06	0,1	8,73	6,35	0,54	0,73	730
	A320	2440	0,06	0,1	9,01	6,19	0,51	0,77	770
	A321	3020	0,14	0,1	16,72	7,55	1,27	0,96	960
	A330-200/300	7050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2,23	2230
	A340-200	5890	0,42	0,2	28,31	26,19	3,78	1,86	1860
	A340-300	6380	0,39	0,2	34,81	25,23	3,51	2,02	2020
	A340-500/600	10660	0,01	0,3	64,45	15,31	0,13	3,37	3370
	707	5890	9,75	0,2	10,96	92,37	87,71	1,86	1860
	717	2140	0,01	0,1	6,68	6,78	0,05	0,68	680
	727-100	3970	0,69	0,1	9,23	24,44	6,25	1,26	1260
	727-200	4610	0,81	0,1	11,97	27,16	7,32	1,46	1460
	737-100/200	2740	0,45	0,1	6,74	16,04	4,06	0,87	870
	737-300/400/500	2480	0,08	0,1	7,19	13,03	0,75	0,78	780
	737-600	2280	0,10	0,1	7,66	8,65	0,91	0,72	720
	737-700	2460	0,09	0,1	9,12	8,00	0,78	0,78	780
	737-800/900	2780	0,07	0,1	12,30	7,07	0,65	0,88	880
	747-100	10140	4,84	0,3	49,17	114,59	43,59	3,21	3210
	747-200	11370	1,82	0,4	49,52	79,78	16,41	3,60	3600
	747-300	11080	0,27	0,4	65,00	17,84	2,46	3,51	3510
	747-400	10240	0,22	0,3	42,88	26,72	2,02	3,24	3240
	757-200	4320	0,02	0,1	23,43	8,08	0,20	1,37	1370
	757-300	4630	0,01	0,1	17,85	11,62	0,10	1,46	1460
	767-200	4620	0,33	0,1	23,76	14,80	2,99	1,46	1460
	767-300	5610	0,12	0,2	28,19	14,47	1,07	1,77	1780
	767-400	5520	0,10	0,2	24,80	12,37	0,88	1,75	1750
	777-200/300	8100	0,07	0,3	52,81	12,76	0,59	2,56	2560
	DC-10	7290	0,24	0,2	35,65	20,59	2,13	2,31	2310
	DC-8-50/60/70	5360	0,15	0,2	15,62	26,31	1,36	1,70	1700
	DC-9	2650	0,46	0,1	6,16	16,29	4,17	0,84	840
	L-1011	7300	7,40	0,2	31,64	103,33	66,56	2,31	2310

Anexo 2.- Factores de Emisiones LTO y consumo de LTO para Aeronaves de reacción y Turbohélices (IPCC, 2006).

	AERONAVE	Factores de emisión de LTO (kg/LTO) ⁽¹²⁾							CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LTO (KG/LTO)
		CO ₂ ⁽¹¹⁾	CH ₄ ⁽⁷⁾	N ₂ O ⁽⁸⁾	NO _x	CO	COVDM ⁽⁹⁾	SO ₂ ⁽¹⁰⁾	
	MD-11	7290	0,24	0,2	35,65	20,59	2,13	2,31	2310
	MD-80	3180	0,19	0,1	11,97	6,46	1,69	1,01	1010
	MD-90	2760	0,01	0,1	10,76	5,53	0,06	0,87	870
	TU-134	2930	1,80	0,1	8,68	27,98	16,19	0,93	930
	TU-154-M	5960	1,32	0,2	12,00	82,88	11,85	1,89	1890
	TU-154-B	7030	11,90	0,2	14,33	143,05	107,13	2,22	2230
Aviones de reacción regionales	RJ-RJ85	1910	0,13	0,1	4,34	11,21	1,21	0,60	600
	BAE 146	1800	0,14	0,1	4,07	11,18	1,27	0,57	570
	CRJ-100ER	1060	0,06	0,03	2,27	6,70	0,56	0,33	330
	ERJ-145	990	0,06	0,03	2,69	6,18	0,50	0,31	310
	Fokker 100/70/28	2390	0,14	0,1	5,75	13,84	1,29	0,76	760
	BAC111	2520	0,15	0,1	7,40	13,07	1,36	0,80	800
	Dornier 328 Jet	870	0,06	0,03	2,99	5,35	0,52	0,27	280
	Gulfstream IV	2160	0,14	0,1	5,63	8,88	1,23	0,68	680
	Gulfstream V	1890	0,03	0,1	5,58	8,42	0,28	0,60	600
	Yak-42M	2880	0,25	0,1	10,66	10,22	2,27	0,91	910
con motor a pistón	Cessna 525/560	1070	0,33	0,03	0,74	34,07	3,01	0,34	340
Turbohélices	Beech King Air ⁽⁵⁾	230	0,06	0,01	0,30	2,97	0,58	0,07	70
	DHC8-100 ⁽⁶⁾	640	0,00	0,02	1,51	2,24	0,00	0,20	200
	ATR72-500 ⁽⁷⁾	620	0,03	0,02	1,82	2,33	0,26	0,20	200

Anexo 3.- Ruta Guayaquil-Quito-Guayaquil, 2014.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-UIO-GYE 2014													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	136.908,00	544	4.548,40	61,00	2.244,39	236,47	57.896,56	13.598.535,66	99,33	13.497.028,50	99,30	0,75	0,03
Febrero	129.527,00	544	4.548,40	62,00	2.089,15	232,51	55.708,14	12.873.486,62	99,39	12.871.983,90	99,30	0,01	0,09
Marzo	137.997,00	544	4.548,40	62,00	2.225,76	232,71	59.299,99	13.703.519,25	99,30	13.595.725,90	99,30	0,79	0,00
Abril	138.888,00	544	4.548,40	35,00	3.968,23	412,50	33.669,82	13.782.942,09	99,24	13.668.833,90	99,30	0,83	0,06
Mayo	137.803,00	544	4.548,40	42,00	3.281,02	343,45	40.123,16	13.687.214,26	99,32	13.612.696,22	99,30	0,54	0,02
Junio	128.919,00	544	4.548,40	68,00	1.895,87	211,15	61.055,65	12.864.299,26	99,79	12.850.383,92	99,30	0,11	0,49
Julio	142.217,00	544	4.548,40	56,00	2.539,59	258,37	55.043,93	14.082.851,69	99,02	14.004.242,20	99,30	0,56	0,28
Agosto	146.348,00	544	4.548,40	39,00	3.752,51	371,20	39.425,65	14.483.830,10	98,97	14.374.562,80	99,30	0,75	0,34
Septiembre	137.685,00	544	4.548,40	42,00	3.278,21	343,45	40.088,80	13.675.493,97	99,32	13.564.896,30	99,30	0,81	0,02
Octubre	149.813,00	544	4.548,40	35,00	4.280,37	415,00	36.099,52	14.777.554,32	98,64	14.728.689,60	99,30	0,33	0,67
Noviembre	138.222,00	544	4.548,40	50,00	2.764,44	288,60	47.893,97	13.723.979,04	99,29	13.627.528,60	99,30	0,70	0,01
Diciembre	133.120,00	544	4.548,40	75,00	1.774,93	192,28	69.232,37	13.225.653,39	99,35	13.220.823,00	99,30	0,04	0,05
Total Anual	1.657.447,00	7.506.656	62.763.372	627,00	34.094,48	3.537,69	595.537,56	164.479.359,65	1.190,96	163.617.394,84	1.191,60	0,52	0,05

Anexo 4.- Ruta Guayaquil-Balra-Guayaquil, 2014.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

RUTA GYE-GPS-GYE 2014													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	15.915,00	2.334	11.298,80	104,00	153,03	142,31	11.183,33	3.827.196,49	240,48	3.825.731,80	240,40	0,04	0,03
Febrero	15.327,00	2.334	11.298,80	132,00	116,11	112,05	13.678,71	3.688.198,11	240,63	3.684.385,20	240,40	0,10	0,10
Marzo	20.749,00	2.334	11.298,80	50,00	414,98	298,00	6.962,75	4.956.256,54	238,87	4.934.785,20	240,40	0,43	0,64
Abril	18.038,00	2.334	11.298,80	84,00	214,74	176,22	10.236,07	4.337.073,43	240,44	4.314.785,20	240,40	0,51	0,02
Mayo	16.621,00	2.334	11.298,80	119,00	139,67	124,38	13.363,08	3.996.708,84	240,46	3.984.385,20	240,40	0,31	0,03
Junio	14.348,00	2.334	11.298,80	141,00	101,76	104,30	13.756,47	3.472.408,59	242,01	3.442.165,05	240,40	0,87	0,67
Julio	16.469,00	2.334	11.298,80	114,00	144,46	129,83	12.685,05	3.960.319,24	240,47	3.958.905,20	240,40	0,04	0,03
Agosto	18.755,00	2.334	11.298,80	60,00	312,58	248,01	7.562,20	4.485.795,81	239,18	4.441.426,00	240,40	0,99	0,51
Septiembre	14.195,00	2.334	11.298,80	137,00	103,61	107,26	13.234,20	3.438.111,14	242,21	3.412.269,10	240,40	0,75	0,75
Octubre	18.557,00	2.334	11.298,80	105,00	176,73	140,99	13.161,93	4.461.419,21	240,42	4.460.829,70	240,40	0,01	0,01
Noviembre	17.067,00	2.334	11.298,80	88,00	193,94	168,20	10.146,85	4.103.849,26	240,46	4.102.655,60	240,40	0,03	0,02
Diciembre	14.661,00	2.334	11.298,80	107,00	137,02	137,82	10.637,79	3.538.428,67	241,35	3.524.288,70	240,40	0,40	0,39
Total Anual	200.702,00	3.526.674	17.072.487	1.241,00	2.208,65	1.889,37	136.608,43	48.265.765,33	2.886,97	48.086.611,95	2.884,80	0,37	0,08

Anexo 5.- Ruta Guayaquil-San Cristóbal-Guayaquil, 2014.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-SCY-GYE 2014													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	6.559,00	2.180	10.016,70	345,00	19,01	35,87	18.285,48	1.672.331,54	254,97	1.671.092,90	254,80	0,07	0,07
Febrero	6.478,00	2.180	10.016,70	254,00	25,50	48,70	13.301,85	1.652.393,53	255,08	1.636.455,80	254,80	0,96	0,11
Marzo	9.392,00	2.180	10.016,70	130,00	72,25	96,10	9.773,15	2.372.064,89	252,56	2.356.931,30	254,80	0,64	0,89
Abril	8.765,00	2.180	10.016,70	175,00	50,00	71,22	12.306,94	2.215.150,59	252,73	2.194.455,80	254,80	0,93	0,82
Mayo	6.591,00	2.180	10.016,70	154,00	42,80	80,38	8.199,80	1.680.032,99	254,90	1.669.325,34	254,80	0,64	0,04
Junio	5.811,00	2.180	10.016,70	307,00	18,93	40,00	14.527,50	1.493.095,99	256,94	1.478.889,62	254,80	0,95	0,83
Julio	6.433,00	2.180	10.016,70	295,00	21,81	41,93	15.342,24	1.640.974,73	255,09	1.638.990,80	254,80	0,12	0,11
Agosto	8.258,00	2.180	10.016,70	204,00	40,48	60,74	13.595,65	2.102.834,74	254,64	2.101.961,70	254,80	0,04	0,06
Septiembre	6.060,00	2.180	10.016,70	270,00	22,44	45,80	13.231,44	1.546.246,05	255,16	1.543.958,40	254,80	0,15	0,14
Octubre	7.621,00	2.180	10.016,70	327,00	23,31	37,86	20.129,42	1.942.311,22	254,86	1.941.667,80	254,80	0,03	0,02
Noviembre	6.479,00	2.180	10.016,70	322,00	20,12	38,43	16.859,22	1.652.026,25	254,98	1.650.710,60	254,80	0,08	0,07
Diciembre	7.003,00	2.180	10.016,70	274,00	25,56	45,18	15.500,22	1.784.935,63	254,88	1.784.214,60	254,80	0,04	0,03
Total Anual	85.450,00	1.711.300	7.863.110	3.057,00	382,21	642,21	171.052,92	21.754.398,15	3.056,79	21.668.654,66	3.057,60	0,39	0,03

Anexo 6.- Ruta Guayaquil-Cuenca-Guayaquil, 2014.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-CUE-GYE 2014													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	5.781,00	258	557	579,00	9,98	8,33	69.399,76	210.302,85	36,38	209.384,80	36,20	0,44	0,49
Febrero	5.319,00	258	557	183,00	29,07	26,24	20.270,58	194.348,33	36,54	192.651,40	36,20	0,87	0,93
Marzo	5.900,00	258	557	533,00	11,07	9,05	65.193,37	214.606,06	36,37	213.064,20	36,20	0,72	0,48
Abril	5.500,00	258	557	151,00	36,42	31,89	17.246,79	200.399,66	36,44	199.651,40	36,20	0,37	0,65
Mayo	6.101,00	258	557	161,00	37,89	30,01	20.329,89	221.551,61	36,31	220.847,37	36,20	0,32	0,31
Junio	6.958,00	258	557	674,00	10,32	7,26	95.840,22	249.490,29	35,86	248.051,72	36,20	0,58	0,96
Julio	6.944,00	258	557	674,00	10,30	7,26	95.647,38	248.988,30	35,86	248.308,00	36,20	0,27	0,96
Agosto	6.608,00	258	557	490,00	13,49	9,95	66.412,06	237.802,61	35,99	236.338,20	36,20	0,62	0,59
Septiembre	5.427,00	258	557	183,00	29,66	26,27	20.658,55	198.068,04	36,50	196.563,00	36,20	0,76	0,81
Octubre	6.148,00	258	557	400,00	15,37	12,09	50.851,94	223.055,69	36,28	221.677,20	36,20	0,62	0,22
Noviembre	5.437,00	258	557	192,00	28,32	25,05	21.704,59	198.342,66	36,48	196.525,20	36,20	0,92	0,77
Diciembre	5.155,00	258	557	155,00	33,26	30,96	16.650,52	188.478,48	36,56	186.711,40	36,20	0,94	0,99
Total Anual	71.278,00	488.652	1.054.958	4.375,00	265,15	224,36	560.205,65	2.585.434,58	435,56	2.569.773,89	434,40	0,61	0,27

Anexo 7.- Ruta Guayaquil-Loja, 2014.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-LOH-GYE 2014													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	2.730,00	422	813,00	619,00	4,41	7,78	35.089,97	145.175,56	53,18	144.329,80	52,80	0,58	0,71
Febrero	2.428,00	422	813,00	550,00	4,41	8,74	27.780,32	129.352,75	53,28	128.363,60	52,80	0,76	0,89
Marzo	2.755,00	422	813,00	541,00	5,09	8,91	30.920,31	146.368,54	53,13	145.869,60	52,80	0,34	0,62
Abril	2.743,00	422	813,00	470,00	5,84	10,25	26.760,98	145.816,00	53,16	144.391,60	52,80	0,98	0,68
Mayo	2.719,00	422	813,00	565,00	4,81	8,51	31.950,65	144.821,25	53,26	144.233,62	52,80	0,41	0,87
Junio	2.909,00	422	813,00	533,00	5,46	9,05	32.143,65	154.443,29	53,09	153.863,13	52,80	0,38	0,55
Julio	3.130,00	422	813,00	553,00	5,66	8,85	35.367,23	163.786,10	52,33	162.477,00	52,80	0,80	0,90
Agosto	3.303,00	422	813,00	430,00	7,68	11,39	28.999,12	172.710,00	52,29	171.623,20	52,80	0,63	0,98
Septiembre	3.297,00	422	813,00	550,00	5,99	8,90	37.044,94	172.491,36	52,32	171.306,00	52,80	0,69	0,92
Octubre	2.967,00	422	813,00	555,00	5,35	8,80	33.715,91	155.576,14	52,44	154.859,40	52,80	0,46	0,70
Noviembre	2.920,00	422	813,00	480,00	6,08	10,06	29.025,84	154.861,95	53,03	154.374,60	52,80	0,31	0,44
Diciembre	2.795,00	422	813,00	496,00	5,64	9,72	28.755,14	148.468,72	53,12	147.766,20	52,80	0,47	0,60
Total Anual	34.696,00	459.980	886.170	6.342,00	66,42	110,96	377.554,07	1.833.871,66	634,62	1.823.457,75	633,60	0,57	0,16

Anexo 8.- Ruta Guayaquil-Esmeraldas-Guayaquil, 2014.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-ESM-GYE 2014													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	2.123,00	696	1.210,20	497,00	4,27	9,68	21.931,82	168.223,22	79,24	167.100,40	78,80	0,67	0,55
Febrero	1.543,00	696	1.210,20	600,00	2,57	8,00	19.287,50	122.544,10	79,42	121.448,80	78,80	0,89	0,78
Marzo	2.204,00	696	1.210,20	482,00	4,57	9,99	22.062,06	174.488,48	79,17	171.948,80	78,80	1,46	0,47
Abril	2.085,00	696	1.210,20	825,00	2,53	5,82	35.824,74	165.537,67	79,39	163.948,80	78,80	0,96	0,75
Mayo	2.139,00	696	1.210,20	466,00	4,59	10,33	20.706,68	169.391,75	79,19	168.348,80	78,80	0,62	0,50
Junio	2.074,00	696	1.210,20	630,00	3,29	7,62	27.217,85	164.695,20	79,41	163.448,76	78,80	0,76	0,77
Julio	2.340,00	696	1.210,20	496,00	4,72	9,72	24.074,07	185.027,22	79,07	184.180,40	78,80	0,46	0,34
Agosto	2.388,00	696	1.210,20	470,00	5,08	10,30	23.184,47	188.047,23	78,75	187.958,40	78,80	0,05	0,07
Septiembre	2.218,00	696	1.210,20	468,00	4,74	10,30	21.533,98	175.406,70	79,08	174.577,80	78,80	0,47	0,36
Octubre	2.359,00	696	1.210,20	550,00	4,29	8,80	26.806,82	185.801,96	78,76	185.675,80	78,80	0,07	0,05
Noviembre	2.210,00	696	1.210,20	471,00	4,69	10,23	21.603,13	174.849,11	79,12	173.948,00	78,80	0,52	0,40
Diciembre	2.344,00	696	1.210,20	461,00	5,08	10,47	22.387,77	185.130,38	78,98	184.495,20	78,80	0,34	0,23
Total Anual	26.027,00	499.728	868.924	6.416,00	50,43	111,26	286.620,89	2.059.143,01	949,59	2.047.079,96	945,60	0,59	0,42

Anexo 9.- Ruta Guayaquil-Latacunga-Guayaquil, 2014.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-LTX-GYE 2014													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	1.088,00	396	772,20	740,00	1,47	6,50	16.738,46	55.020,45	50,57	54.631,20	50,20	0,71	0,73
Febrero	1.040,00	396	772,20	800,00	1,30	6,00	17.333,33	52.702,65	50,68	52.235,40	50,20	0,89	0,94
Marzo	1.057,00	396	772,20	908,00	1,16	5,29	19.981,10	53.527,11	50,64	53.235,40	50,20	0,54	0,87
Abril	1.275,00	396	772,20	746,00	1,71	6,47	19.706,34	64.255,07	50,40	63.941,40	50,20	0,49	0,39
Mayo	1.040,00	396	772,20	717,00	1,45	6,69	15.545,59	52.738,58	50,71	52.235,40	50,20	0,95	1,01
Junio	1.069,00	396	772,20	759,00	1,41	6,33	16.887,84	54.121,84	50,63	53.785,38	50,20	0,62	0,85
Julio	1.264,00	396	772,20	816,00	1,55	5,91	21.387,48	63.754,34	50,44	63.486,00	50,20	0,42	0,47
Agosto	1.241,00	396	772,20	830,00	1,50	5,80	21.396,55	62.705,56	50,53	62.330,80	50,20	0,60	0,65
Septiembre	1.040,00	396	772,20	893,00	1,16	5,34	19.475,66	53.049,46	51,01	52.635,40	50,20	0,78	1,59
Octubre	1.361,00	396	772,20	870,00	1,56	5,61	24.260,25	67.829,15	49,84	67.358,00	50,20	0,69	0,73
Noviembre	1.047,00	396	772,20	687,00	1,52	6,99	14.978,54	53.033,85	50,65	52.586,80	50,20	0,84	0,89
Diciembre	1.304,00	396	772,20	794,00	1,64	6,10	21.377,05	65.488,89	50,22	65.395,00	50,20	0,14	0,04
Total Anual	13.826,00	202.356	394.594	9.560,00	17,44	73,03	229.068,18	698.226,96	606,31	693.856,18	602,40	0,63	0,64

Anexo 10.- Ruta Guayaquil-Quito-Guayaquil, 2015.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-UIO-GYE 2015													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	122.871,00	544	4.548,40	77,00	1.595,73	187,34	65.587,17	12.203.863,92	99,32	12.102.942,70	99,30	0,83	0,02
Febrero	116.819,00	544	4.548,40	82,00	1.424,62	174,33	67.010,27	11.708.377,23	100,23	11.664.288,00	99,30	0,38	0,92
Marzo	135.943,00	544	4.548,40	45,00	3.020,96	323,78	41.986,23	13.367.910,27	98,33	13.281.189,50	99,30	0,65	0,98
Abril	132.278,00	544	4.548,40	47,00	2.814,43	309,12	42.791,80	13.044.632,90	98,62	13.007.022,70	99,30	0,29	0,69
Mayo	122.140,00	544	4.548,40	51,00	2.394,90	282,85	43.181,90	12.131.116,16	99,32	12.109.343,40	99,30	0,18	0,02
Junio	117.374,00	544	4.548,40	76,00	1.544,39	188,60	62.234,36	11.732.372,12	99,96	11.657.007,80	99,30	0,64	0,66
Julio	121.925,00	544	4.548,40	82,00	1.486,89	175,50	69.472,93	12.138.666,95	99,56	12.108.990,70	99,30	0,24	0,26
Agosto	120.394,00	544	4.548,40	86,00	1.399,93	167,12	72.040,45	12.001.821,69	99,69	11.956.939,30	99,30	0,37	0,39
Septiembre	118.041,00	544	4.548,40	75,00	1.573,88	191,52	61.633,77	11.774.072,03	99,75	11.723.251,00	99,30	0,43	0,45
Octubre	125.082,00	544	4.548,40	55,00	2.274,22	263,10	47.541,62	12.384.557,21	99,01	12.302.528,40	99,30	0,66	0,29
Noviembre	111.695,00	544	4.548,40	88,00	1.269,26	162,33	68.807,37	11.202.668,28	100,30	11.092.997,50	99,30	0,98	0,99
Diciembre	116.673,00	544	4.548,40	72,00	1.620,46	198,50	58.777,33	11.696.247,84	100,25	11.587.388,00	99,30	0,93	0,95
Total Anual	1.461.235,00	6.202.144	51.856.308	836,00	22.419,67	2.624,09	701.065,19	145.386.306,60	1.194,33	144.593.889,00	1.191,60	0,55	0,23

Anexo 11.- Ruta Guayaquil-Baltra-Guayaquil, 2015.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-GPS-GYE 2015													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	17.484,00	2.334	11.298,80	85,00	205,69	173,74	10.063,31	4.213.712,79	241,00	4.182.896,30	240,40	0,73	0,25
Febrero	16.103,00	2.334	11.298,80	68,00	236,81	216,10	7.451,64	3.900.192,01	242,20	3.870.924,20	240,40	0,75	0,74
Marzo	21.097,00	2.334	11.298,80	50,00	421,94	298,00	7.079,53	5.039.382,34	238,87	5.011.408,30	240,40	0,56	0,64
Abril	20.007,00	2.334	11.298,80	68,00	294,22	218,94	9.138,12	4.782.894,71	239,06	4.759.388,40	240,40	0,49	0,56
Mayo	17.761,00	2.334	11.298,80	57,00	311,60	260,30	6.823,28	4.260.506,83	239,88	4.241.983,00	240,40	0,43	0,22
Junio	14.469,00	2.334	11.298,80	69,00	209,70	212,45	6.810,54	3.512.979,10	242,79	3.478.034,70	240,40	0,99	0,99
Julio	16.427,00	2.334	11.298,80	71,00	231,37	207,00	7.935,75	3.978.070,16	242,17	3.948.809,00	240,40	0,74	0,73
Agosto	18.048,00	2.334	11.298,80	53,00	340,53	280,01	6.445,48	4.328.351,74	239,82	4.288.973,60	240,40	0,91	0,24
Septiembre	13.620,00	2.334	11.298,80	69,00	197,39	212,45	6.410,92	3.306.847,42	242,79	3.274.347,60	240,40	0,98	0,99
Octubre	17.692,00	2.334	11.298,80	65,00	272,18	227,73	7.768,85	4.253.889,49	240,44	4.252.896,50	240,40	0,02	0,02
Noviembre	15.839,00	2.334	11.298,80	73,00	216,97	201,00	7.880,10	3.841.950,07	242,56	3.807.462,50	240,40	0,90	0,89
Diciembre	14.781,00	2.334	11.298,80	81,00	182,48	181,00	8.166,30	3.588.253,34	242,76	3.553.134,80	240,40	0,98	0,97
Total Anual	203.328,00	3.778.746	18.292.757	809,00	3.120,88	2.688,72	91.973,83	49.007.029,98	2.894,36	48.670.258,90	2.884,80	0,69	0,33

Anexo 12.- Ruta Guayaquil-San Cristóbal-Guayaquil, 2015.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-SCY-GYE 2015													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	7.156,00	2.180	10.016,70	176,00	40,66	70,31	10.177,78	1.824.634,10	254,98	1.813.225,70	254,80	0,63	0,07
Febrero	6.585,00	2.180	10.016,70	178,00	36,99	69,51	9.473,46	1.679.282,29	255,02	1.665.717,10	254,80	0,81	0,08
Marzo	9.086,00	2.180	10.016,70	113,00	80,41	110,55	8.218,91	2.294.936,97	252,58	2.274.918,40	254,80	0,87	0,88
Abril	7.954,00	2.180	10.016,70	128,00	62,14	97,37	8.168,84	2.013.657,80	253,16	2.007.109,10	254,80	0,33	0,65
Mayo	7.386,00	2.180	10.016,70	162,00	45,59	76,40	9.667,54	1.882.938,57	254,93	1.871.794,80	254,80	0,59	0,05
Junio	5.857,00	2.180	10.016,70	164,00	35,71	75,11	7.797,90	1.500.267,96	256,15	1.492.238,40	254,80	0,54	0,53
Julio	6.200,00	2.180	10.016,70	137,00	45,26	90,10	6.881,24	1.584.825,87	255,62	1.579.627,30	254,80	0,33	0,32
Agosto	7.411,00	2.180	10.016,70	141,00	52,56	88,00	8.421,59	1.884.561,22	254,29	1.868.114,20	254,80	0,87	0,20
Septiembre	6.005,00	2.180	10.016,70	169,00	35,53	72,99	8.227,15	1.536.024,58	255,79	1.529.945,50	254,80	0,40	0,39
Octubre	7.198,00	2.180	10.016,70	141,00	51,05	87,78	8.200,05	1.834.984,39	254,93	1.833.896,40	254,80	0,06	0,05
Noviembre	5.695,00	2.180	10.016,70	174,00	32,73	70,47	8.081,45	1.465.464,93	257,32	1.450.964,20	254,80	0,99	0,98
Diciembre	5.752,00	2.180	10.016,70	138,00	41,68	89,00	6.462,92	1.477.695,68	256,90	1.465.486,60	254,80	0,83	0,82
Total Anual	82.285,00	165.244	7.592.659	1.821,00	560,32	997,59	99.778,83	20.979.274,35	3.061,68	20.853.037,70	3.057,60	0,60	0,13

Anexo 13.- Ruta Guayaquil-Cuenca-Guayaquil, 2015.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-CUE-GYE 2015													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	5.318,00	258	557	649,00	8,19	7,42	71.671,16	193.760,60	36,43	191.977,22	36,20	0,92	0,64
Febrero	5.020,00	258	557	666,00	7,54	7,21	69.625,52	183.425,61	36,54	181.821,60	36,20	0,87	0,93
Marzo	5.772,00	258	557	579,00	9,97	8,32	69.375,00	210.227,82	36,42	209.058,80	36,20	0,56	0,61
Abril	5.310,00	258	557	320,00	16,59	15,10	35.165,56	192.811,68	36,31	192.325,40	36,20	0,25	0,31
Mayo	5.969,00	258	557	495,00	12,06	9,87	60.476,19	214.360,61	35,91	213.194,00	36,20	0,54	0,80
Junio	5.298,00	258	557	558,00	9,49	8,62	61.461,72	193.257,45	36,48	191.890,80	36,20	0,71	0,76
Julio	5.840,00	258	557	622,00	9,39	7,85	74.394,90	209.854,63	35,93	207.921,60	36,20	0,92	0,74
Agosto	5.806,00	258	557	505,00	11,50	9,54	60.859,54	211.447,73	36,42	210.290,20	36,20	0,55	0,60
Septiembre	5.261,00	258	557	658,00	8,00	7,30	72.068,49	192.169,87	36,53	190.750,60	36,20	0,74	0,90
Octubre	5.165,00	258	557	631,00	8,19	7,61	67.871,22	188.721,80	36,54	187.073,60	36,20	0,87	0,93
Noviembre	4.942,00	258	557	604,00	8,18	7,94	62.241,81	180.805,26	36,59	178.996,60	36,20	1,00	1,05
Diciembre	5.009,00	258	557	350,00	14,31	13,96	35.881,09	179.871,90	35,91	178.325,20	36,20	0,86	0,81
Total Anual	64.710,00	496.908	1.072.782	6.637,00	123,41	110,74	741.092,21	2.350.714,95	436,01	2.333.625,62	434,40	0,73	0,37

Anexo 14.- Ruta Guayaquil-Loja, 2015.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-LOH-GYE 2015													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	2.577,00	422	813,00	799,00	3,23	6,01	42.878,54	137.434,03	53,33	136.241,00	52,80	0,87	1,00
Febrero	2.582,00	422	813,00	581,00	4,44	8,27	31.221,28	137.618,14	53,30	136.663,80	52,80	0,69	0,94
Marzo	2.651,00	422	813,00	787,00	3,37	6,11	43.387,89	141.187,06	53,26	140.153,20	52,80	0,73	0,86
Abril	2.729,00	422	813,00	535,00	5,10	8,99	30.355,95	145.308,55	53,25	143.776,80	52,80	1,05	0,84
Mayo	2.860,00	422	813,00	581,00	4,92	8,30	34.457,83	151.884,31	53,11	150.402,60	52,80	0,98	0,58
Junio	2.816,00	422	813,00	488,00	5,77	9,88	28.502,02	149.574,30	53,12	148.876,40	52,80	0,47	0,59
Julio	2.995,00	422	813,00	563,00	5,32	8,59	34.866,12	158.597,51	52,95	158.339,80	52,80	0,16	0,29
Agosto	3.050,00	422	813,00	547,00	5,58	8,94	34.116,33	159.726,18	52,37	158.247,60	52,80	0,93	0,82
Septiembre	2.701,00	422	813,00	529,00	5,11	9,09	29.713,97	143.848,76	53,26	142.796,60	52,80	0,73	0,86
Octubre	2.789,00	422	813,00	712,00	3,92	6,77	41.196,45	148.177,05	53,13	147.449,00	52,80	0,49	0,62
Noviembre	2.746,00	422	813,00	497,00	5,53	9,68	28.367,77	146.173,92	53,23	145.175,60	52,80	0,68	0,81
Diciembre	3.081,00	422	813,00	485,00	6,35	10,10	30.504,95	161.075,57	52,28	160.106,40	52,80	0,60	0,99
Total Anual	33.577,00	472.640	910.560	7.104,00	58,63	100,73	409.569,11	1.780.605,37	636,58	1.768.228,80	633,60	0,70	0,47

Anexo 15.- Ruta Guayaquil-Esmeraldas-Guayaquil, 2015.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-ESM-GYE 2015													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	2.180,00	696	1.210,20	589,00	3,70	8,16	26.715,69	172.909,46	79,32	171.416,80	78,80	0,86	0,65
Febrero	1.963,00	696	1.210,20	645,00	3,04	7,43	26.419,92	156.149,10	79,55	155.506,80	78,80	0,41	0,94
Marzo	2.272,00	696	1.210,20	565,00	4,02	8,51	26.698,00	180.134,97	79,28	178.928,00	78,80	0,67	0,61
Abril	2.330,00	696	1.210,20	533,00	4,37	9,03	25.802,88	184.547,71	79,21	183.193,20	78,80	0,73	0,51
Mayo	2.362,00	696	1.210,20	503,00	4,70	9,57	24.681,30	187.054,29	79,19	185.712,00	78,80	0,72	0,50
Junio	1.966,00	696	1.210,20	648,00	3,03	7,40	26.567,57	156.294,79	79,50	154.843,00	78,80	0,93	0,88
Julio	2.241,00	696	1.210,20	584,00	3,84	8,23	27.229,65	177.744,79	79,31	176.388,00	78,80	0,76	0,65
Agosto	2.487,00	696	1.210,20	545,00	4,56	8,89	27.975,25	195.679,45	78,68	194.351,60	78,80	0,68	0,15
Septiembre	2.164,00	696	1.210,20	559,00	3,87	8,59	25.192,08	171.798,75	79,39	170.328,00	78,80	0,86	0,74
Octubre	2.510,00	696	1.210,20	530,00	4,74	9,20	27.282,61	196.235,57	78,18	195.561,00	78,80	0,34	0,79
Noviembre	2.142,00	696	1.210,20	600,00	3,57	8,00	26.775,00	170.116,30	79,42	168.595,80	78,80	0,89	0,78
Diciembre	2.368,00	696	1.210,20	509,00	4,65	9,46	25.031,71	187.473,76	79,17	186.384,20	78,80	0,58	0,47
Total Anual	26.985,00	505.296	878.605	6.810,00	48,10	102,47	316.371,66	2.136.138,92	950,20	2.121.208,40	945,60	0,70	0,48

Anexo 16.- Ruta Guayaquil-Latacunga-Guayaquil, 2015.

Número de pasajeros, distancia, consumo de combustible, número de asientos, factor de ocupación, masa total transportada, pax to freight to factor, emisiones de CO₂ y HdeC.

Ruta GYE-LTX-GYE 2015													
Meses	# PASAJEROS	DISTANCIA (km)	COMBUSTIBLE (kg)	ASIENTOS	FACTOR OCUPACION (kg)	MASA TOTAL TRANSPORTADA (kg)	PAX TO FREIGHT FACTOR (kg)	CO ₂ IPCC-ICAO (kg)	HdeC (kg) IPCC-ICAO	CALCULADORA ICAO (kg)	HUELLA ICAO (kg)	Valor Absoluto CO ₂	Valor Absoluto HdeC
Enero	975,00	396	772,20	713,00	1,37	6,73	14.487,37	49.424,28	50,69	48.980,60	50,20	0,90	0,97
Febrero	992,00	396	772,20	327,00	3,03	14,68	6.757,49	50.266,45	50,67	49.824,40	50,20	0,88	0,93
Marzo	2.736,00	396	772,20	870,00	3,14	5,60	48.857,14	136.599,52	49,93	135.419,00	50,20	0,86	0,55
Abril	2.851,00	396	772,20	312,00	9,14	15,67	18.194,00	141.844,98	49,75	140.695,00	50,20	0,81	0,90
Mayo	2.661,00	396	772,20	885,00	3,01	5,50	48.381,82	132.977,84	49,97	131.652,00	50,20	1,00	0,45
Junio	2.636,00	396	772,20	277,00	9,52	17,47	15.088,72	132.499,15	50,27	131.396,40	50,20	0,83	0,13
Julio	3.107,00	396	772,20	302,00	10,29	16,20	19.179,01	154.475,51	49,72	153.053,00	50,20	0,92	0,97
Agosto	2.438,00	396	772,20	712,00	3,42	6,77	36.011,82	123.028,40	50,46	122.451,60	50,20	0,47	0,52
Septiembre	1.202,00	396	772,20	324,00	3,71	14,84	8.099,73	60.808,73	50,59	60.372,00	50,20	0,72	0,77
Octubre	1.219,00	396	772,20	720,00	1,69	6,68	18.248,50	61.650,29	50,57	61.225,80	50,20	0,69	0,74
Noviembre	1.178,00	396	772,20	353,00	3,34	13,62	8.649,05	59.598,29	50,59	59.166,60	50,20	0,72	0,78
Diciembre	1.171,00	396	772,20	730,00	1,60	6,58	17.796,35	59.299,15	50,64	58.815,00	50,20	0,82	0,87
Total Anual	23.166,00	296.604	278.378	6.525,00	53,26	130,34	259.751,01	1.162.472,59	603,86	1.153.051,40	602,4	0,81	0,24

