

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SANTIAGO – CHILE**



**Estimación de las emisiones contaminantes  
producidas por el sector de transporte aéreo en Chile  
para el año 2015**

**Constanza Belén Bustamante Figueroa**

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA,  
MENCIÓN ENERGÍA**

**Profesor Guía: Dr. Mauricio Osses Alvarado  
Profesor Co-referente: Osvaldo Sarabia Vilches**

**Noviembre 2018**

## Dedicatoria

*A mi Maximiliano, fuente inagotable de inspiración y de lucha*

## Agradecimientos

En este largo trayecto de carrera universitaria, quiero en primer lugar, agradecer profundamente a mi familia, actores activos a lo largo del gran desafío que me impuse hace años atrás de ser ingeniera. Sin mis padres este camino habría sido imposible y desastroso, gracias por tanto amor, por tanto apoyo incondicional y sincero. A mi hermana pequeña también le doy las gracias por cuidar de su sobrino siempre, al igual que mis abuelas. Estoy infinitamente agradecida de ustedes, por apostar todas las fichas en mí y por a veces soportarme, los amo muchísimo.

De igual forma, quiero agradecer a las increíbles personas que conocí en esta travesía, a mis compañeros y ahora colegas, los que con el tiempo se transformaron en grandes amistades e hicieron que todo el proceso en esta universidad fuese más ameno y más fácil. Gracias por todas las experiencias que compartimos juntos, por todos los momentos alegres, emotivos y desordenados que vivimos juntos y por los lazos tan hermosos que formamos. Expreso también mis agradecimientos al hombre que me acompaña hoy en día, gracias por todo el apoyo, por la fuerza y la entrega.

Por otro lado, quiero agradecer a mis dos profesores en este trabajo, Mauricio y Osvaldo, quienes me guiaron durante todo el proceso de titulación sin dudar. Probablemente no hubiese terminado sin tenerlos a los dos, muchas gracias por caminar conmigo en esto. Además, les agradezco la oportunidad de que mi trabajo haya participado en las conferencias de FIDAE 2018, fue un momento de pleno orgullo, muchas gracias.

También extendiendo mis gratitudes a la empresa VIA 56, en especial a Ariel, Matias y Héctor. Con ellos tuve la oportunidad de compartir mi trabajo y con su colaboración esta tesis pudo ser terminada.

Finalmente, doy agradecimiento especial para mi diseñador favorito, mi primo y hermano Rodrigo, quien confeccionó el mapa de emisiones de AMB.

## Resumen

Este estudio contempla la realización de un inventario de emisiones GEI procedentes del sector aéreo, particularmente en los principales aeropuertos del país en el año 2015. Este inventario es generado a través de una metodología internacional y una base de datos que contiene aproximadamente 440.000 movimientos de aeronaves, proporcionada por la Dirección General de Aeronáutica Civil. Las emisiones son calculadas en base a factores de emisión entregados por la metodología, tiempos de operación en aeródromos, haciendo una distinción categórica en las emisiones por sobre y bajo los 915 metros de altura, donde estas últimas son el objetivo principal del estudio. A su vez, el modelo considera distintos supuestos en relación a los tipos de aeronaves y a los modos de operación en aeródromos.

Los resultados de esta investigación corresponden a las toneladas anuales emitidas para los principales contaminantes en la aeronáutica: Monóxido de Carbono, Hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno, material particulado y dióxido de carbono. Estos son analizados según las regiones del país, los principales aeródromos de la Red Aeroportuaria Nacional y las aeronaves que operan en el territorio.

El transporte aéreo en Chile tiene asociada la suma de 1.707 toneladas de CO, 211 toneladas de HC, 1.419 toneladas de NOx; 9,25 toneladas de PM<sub>2,5</sub> y 320.224 toneladas de CO<sub>2</sub>. A nivel regional, la principal en emisiones atmosféricas es la Metropolitana, seguida de la región de Antofagasta, la región de Los Lagos y de Tarapacá, con un 63%, 11%, 7% y 5% de participación promedio, respectivamente. Con respecto a las aeronaves, las que emiten una mayor cantidad de contaminantes a nivel nacional corresponden al tipo jet en actividades comerciales, particularmente los modelos A320, A319, A321, B763 y B788 con un 45%, 17%, 9%, 8% y 5% de participación promedio, a proporción. En el caso de los aeródromos a nivel nacional, Arturo Merino Benítez se adjudica el 62% de las emisiones promedio, seguido de los aeropuertos Cerro Moreno con un 7%, El Tepual y Diego Aracena ambos con un 5% de participación, mientras que los principales aeródromos corresponden a El Loa, Carriel Sur y La Florida, presentando un 4%, 3% y 2%, respectivamente.

Los niveles de emisión de cada aeropuerto y aeródromos responden principalmente al nivel de actividad y al tipo de tecnología que presenta la flota operativa durante el periodo a evaluar, evidencia de esto son los niveles de polución que presentan las naves con motor jet en los principales aeropuertos y aeródromos del país, descritos anteriormente. De acuerdo a los contaminantes en la trayectoria de vuelo completa, estas muestran un perfil de emisión similar a las aeroportuarias en órdenes de magnitud significativamente mayores, excluyendo los óxidos de nitrógeno los que aumentan considerablemente en esta fase.

Las rutas aéreas en Arturo Merino Benítez son, protocolarmente, en dirección norte y sur. De acuerdo a la gráfica de emisiones por aerovías de las principales naves emisoras de CO<sub>2</sub> en ese aeropuerto, la dirección norte emite el 72%, mientras que la ruta sur el 28% restante.

## Abstract

This study contemplates the creation of an inventory of the aviation sector's greenhouse gas emissions, specifically from the main Chilean airfields in 2015. This inventory is generated using an international methodology and a database that contains roughly 440,000 aircraft movements, provided by DGAC (Spanish acronym for General Directorate of Civil Aviation). The emissions are calculated based on emission factors given by the methodology and airfields' operation times, doing a categorical distinction in emissions above and below 915 meters high, where these latter are the principal aim of this study. At the same time, the model considers different assumptions in terms of the aircraft types and operation modes in airfields.

The results from the investigation refer to the annual tons emitted by the aviation's main contaminants: carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides, particulate matter and carbon dioxide. These contaminants are analyzed by: regions within the country, the main airfields in the National Aviation Network and the operating aircrafts within the territory.

The national air transport's emissions sum a total of 1,707 tons of CO, 211 tons of HC, 1,419 tons of NO<sub>x</sub>; 9.25 tons of PM<sub>2.5</sub> and 320,224 tons of CO<sub>2</sub>. At regional level, Metropolitan Region is the one with the main atmospheric emissions, followed by Antofagasta, Los Lagos and Tarapacá Regions, with 63%, 11%, 7% and 5% of average participation, respectively. The aircraft type that emits a greater amount of pollutants corresponds to the jet type for commercial activities, particularly the A320, A319, A321, B763 and B788 models with 45%, 17%, 9%, 8% and 5% of average participation, in proportion. Regarding to the national airports, Arturo Merino Benítez owns the 62% from the average emissions, followed by the Cerro Moreno airport with a 7%, El Tepual and Diego Aracena, both with a 5% of participation. The main national airfields are El Loa, Carriel Sur and La Florida, which own the 4%, 3% and 2% of the average emissions, respectively.

The amount of emissions from each airport and airfield is directly related to the activity level and the type of technology of the operative fleet, over the period of time evaluated. The pollution level produced by the jet-engine aircrafts in the main airports and airfields previously mentioned is an evidence of this. Pollutants produced by the full flight trajectory show a similar emission profile to the airport's emission in order to magnitude significantly greater, excluding the oxides of nitrogen which increase considerably in this phase of flight. Although aircraft's full flight trajectory and airport's emissions have similar profiles, this latter has an order of magnitude significantly greater, excluding the oxides of nitrogen which increases considerably in these phases of flight.

Arturo Merino Benítez's air routes are, formally, in north and south direction. According to the diagram that shows the emissions by airways from the main CO<sub>2</sub> emitter aircrafts in the airport mentioned above, the north direction emits 72% of contaminants, while the south route emits the remaining 28%.

## Glosario y abreviaturas

|                  |                                                                                     |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| AMB              | : Aeropuerto Arturo Merino Benítez                                                  |
| Ad.              | : Aeródromo                                                                         |
| Ap.              | : Aeropuerto                                                                        |
| CAA              | : Civil Aviation Authority (UK)                                                     |
| CCD              | : Ciclo aéreo en modo crucero <i>Climb, Cruise, Descent</i>                         |
| CEI (CIS)        | : Comunidad de Estados Independientes ( <i>Commonwealth of Independent States</i> ) |
| CEPE             | : Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa                             |
| CMNUCC           | : Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático                   |
| CNE              | : Comisión Nacional de Energía                                                      |
| CO               | : Monóxido de carbono                                                               |
| CO <sub>2</sub>  | : Dióxido de carbono                                                                |
| CORINAIR         | : Core Inventory Air                                                                |
| DA               | : Dirección de Aeropuertos                                                          |
| DIA              | : Declaración de Impacto Ambiental                                                  |
| DGAC             | : Dirección General de Aeronáutica Civil                                            |
| EEA              | : European Environment Agency                                                       |
| EIA              | : Estudio de Impacto Ambiental                                                      |
| EMEP             | : European Monitoring Evaluation Program                                            |
| EPA              | : Environmental protection agency (EE.UU.)                                          |
| FAA              | : Federal Aviation Administration (EE.UU.)                                          |
| FAR              | : Federal Aircraft Regulations                                                      |
| FC               | : Factor de corrección                                                              |
| FE               | : Factor de emisión                                                                 |
| GEI              | : Gases de Efecto Invernadero                                                       |
| H <sub>2</sub> O | : Molécula de agua, independiente a la fase                                         |
| HC               | : Hidrocarburos no quemados                                                         |
| IATA             | : International Air Transport Association                                           |
| IPCC             | : Intergovernmental Panel on Climate Change                                         |
| JAC              | : Junta Aeronáutica Civil (Chile)                                                   |
| LTO              | : Ciclo aéreo de Aterrizaje y Despegue, <i>Landing/Take-Off</i>                     |
| MAPS             | : Mitigation Action Plans and Scenarios                                             |

|                 |                                                                              |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------|
| MCI             | : Motor de Combustión Interna                                                |
| MMA             | : Ministerio de Medio Ambiente (Chile)                                       |
| N (kN)          | : Newton, unidad de Fuerza (kN corresponde a mil Newtons)                    |
| NH <sub>3</sub> | : Amoníaco                                                                   |
| NO <sub>x</sub> | : Óxidos de nitrógeno                                                        |
| OACI            | : Organización de Aviación Civil Internacional                               |
| RCA             | : Resolución de Calificación Ambiental                                       |
| RM              | : Región Metropolitana                                                       |
| SEC             | : Superintendencia de Electricidad y Combustibles                            |
| SO <sub>x</sub> | : Óxidos de azufre                                                           |
| Tier            | : Metodología de cálculo para generar inventarios de emisiones contaminantes |
| TOG             | : Total organic Gas (Gases orgánicos totales)                                |
| UE              | : Unión Europea                                                              |
| VOC             | : Volatile organic compounds (Compuestos orgánicos volátiles)                |

# Índice de Contenidos

|                                                                         |             |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                               | <b>XII</b>  |
| <b>OBJETIVOS .....</b>                                                  | <b>XIII</b> |
| OBJETIVO GENERAL .....                                                  | XIII        |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                             | XIII        |
| <b>CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE.....</b>                                 | <b>14</b>   |
| 1.1    EMISIONES CONTAMINANTES DEL SECTOR AÉREO.....                    | 17          |
| 1.1.1 <i>Tipo de aeronave .....</i>                                     | <i>19</i>   |
| 1.1.2 <i>Motores .....</i>                                              | <i>20</i>   |
| 1.1.3 <i>Modos de Operación.....</i>                                    | <i>24</i>   |
| 1.1.4 <i>Tipo de combustibles .....</i>                                 | <i>26</i>   |
| 1.2    METODOLOGÍAS INTERNACIONALES PARA INVENTARIOS DE EMISIONES ..... | 28          |
| 1.2.1 <i>Tier 1 .....</i>                                               | <i>29</i>   |
| 1.2.2 <i>Tier 2.....</i>                                                | <i>30</i>   |
| 1.2.3 <i>Tier 3 .....</i>                                               | <i>30</i>   |
| 1.3    INFORMACIÓN NACIONAL.....                                        | 31          |
| 1.3.1 <i>Sistema Aeronáutico Nacional.....</i>                          | <i>31</i>   |
| 1.3.2 <i>Red Aeroportuaria Nacional .....</i>                           | <i>32</i>   |
| 1.3.3 <i>Transporte aéreo en Chile, año 2015.....</i>                   | <i>34</i>   |
| 1.4    ESTUDIOS PREVIOS Y NORMATIVA .....                               | 37          |
| 1.4.1 <i>Normativa vigente .....</i>                                    | <i>39</i>   |
| <b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA E INFORMACIÓN DISPONIBLE .....</b>           | <b>41</b>   |
| 2.1    FACTORES DE EMISIÓN .....                                        | 43          |
| 2.1.1 <i>Tier 1 .....</i>                                               | <i>45</i>   |
| 2.1.2 <i>Tier 2 (LTO) .....</i>                                         | <i>46</i>   |
| 2.1.3 <i>Tier 3 (CCD) .....</i>                                         | <i>49</i>   |
| 2.1.4 <i>Comportamiento en motores Jet .....</i>                        | <i>50</i>   |
| 2.2    BITÁCORA DE ACTIVIDADES AÉREAS.....                              | 52          |
| 2.2.1 <i>Tipo de aeronave .....</i>                                     | <i>53</i>   |
| 2.2.2 <i>Actividades aeronáuticas.....</i>                              | <i>54</i>   |
| 2.2.3 <i>Aeródromos y Aeropuertos.....</i>                              | <i>55</i>   |
| 2.2.4 <i>Procesamiento de la data disponible.....</i>                   | <i>56</i>   |
| <b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>                           | <b>59</b>   |
| 3.1    NIVEL DE ACTIVIDAD AÉREA .....                                   | 59          |
| 3.1.1 <i>Movimientos por actividad.....</i>                             | <i>59</i>   |
| 3.1.2 <i>Movimientos por geografía .....</i>                            | <i>61</i>   |
| 3.2    EMISIONES A NIVEL NACIONAL .....                                 | 64          |
| 3.2.1 <i>Emisiones por tipo de aeronave.....</i>                        | <i>65</i>   |
| 3.2.2 <i>Emisiones anuales por aeródromo .....</i>                      | <i>69</i>   |
| 3.3    CASO ESTUDIO: AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ .....             | 74          |
| 3.3.1 <i>Emisiones LTO y CCD en AMB .....</i>                           | <i>76</i>   |

|                                                         |                                                    |            |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|
| 3.3.2                                                   | Mapa físico AMB.....                               | 79         |
| 3.4                                                     | VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....                      | 82         |
| 3.4.1                                                   | Validación por LTO.....                            | 82         |
| 3.4.2                                                   | Validación resultados nacionales y CCD en AMB..... | 87         |
| 3.4.3                                                   | Validación Inventario internacional.....           | 91         |
| <b>CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b> |                                                    | <b>95</b>  |
| 4.1                                                     | CONCLUSIONES GENERALES.....                        | 95         |
| 4.2                                                     | CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....                      | 95         |
| 4.3                                                     | RECOMENDACIONES .....                              | 100        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                |                                                    | <b>102</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                      |                                                    | <b>107</b> |

## Índice de Figuras

|            |                                                                                                                                                                              |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1:  | PROPORCIONES ESTIMADAS DE EMISIONES GEI ANTROPOGÉNICAS GLOBALES EN 2014 [7] .....                                                                                            | 14 |
| FIGURA 2:  | EMISIONES GLOBALES DE CO <sub>2</sub> POR QUEMA DE COMBUSTIBLE SEGÚN SECTOR, 2015 [7] .....                                                                                  | 15 |
| FIGURA 3:  | EMISIONES DE CO <sub>2</sub> PARA EL TRANSPORTE A NIVEL MUNDIAL, 1990-2015 [7] .....                                                                                         | 16 |
| FIGURA 4:  | PRONÓSTICO DE LA EEA PARA EL TRÁFICO AÉREO EUROPEO [9] .....                                                                                                                 | 16 |
| FIGURA 5:  | REPRESENTACIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES EMITIDAS POR UN MOTOR AERONÁUTICO [9] .....                                                                                    | 18 |
| FIGURA 6:  | AVIÓN DE LA EMPRESA AIRBUS, TIPO A320. FUENTE: WIKIMEDIA COMMONS .....                                                                                                       | 19 |
| FIGURA 7:  | DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN PARA MOTORES UTILIZADOS EN LA AERONÁUTICA [9] [13] .....                                                                                           | 20 |
| FIGURA 8:  | ESQUEMA ILUSTRATIVO DE MOTOR TURBOJET [14] .....                                                                                                                             | 21 |
| FIGURA 9:  | ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UN MOTOR TURBOFAN [15] .....                                                                                                                          | 22 |
| FIGURA 10: | ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UN MOTOR TURBOHÉLICE [13].....                                                                                                                        | 22 |
| FIGURA 11: | DISTRIBUCIÓN DEL EMPUJE NETO A LO LARGO DE UN MOTOR TURBORREACTOR [16] .....                                                                                                 | 24 |
| FIGURA 12: | FASES TÍPICAS DE OPERACIONES EN AEROPUERTO Y EN AIRE [9].....                                                                                                                | 25 |
| FIGURA 13: | DIAGRAMA DEL SISTEMA AERONÁUTICO NACIONAL Y ORGANISMOS INVOLUCRADOS.....                                                                                                     | 31 |
| FIGURA 14: | DIAGRAMA DE LA RED AEROPORTUARIA NACIONAL [25] .....                                                                                                                         | 33 |
| FIGURA 15: | CANTIDAD DE PASAJEROS TRANSPORTADOS EN EL AÑO 2015 Y CRECIMIENTO ANUAL [10] .....                                                                                            | 36 |
| FIGURA 16: | ÁRBOL DE DECISIONES PARA DETERMINAR EL MÉTODO APROPIADO A APLICAR EN EL INVENTARIO [9].....                                                                                  | 42 |
| FIGURA 17: | FACTOR DE EMISIÓN DE CO (ARRIBA) Y HC (ABAJO) EN FUNCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE POTENCIA DEL MOTOR<br>PARA 6 TIPOS DE AERONAVES CON DISTINTAS POTENCIAS NOMINALES [12] ..... | 51 |
| FIGURA 18: | FACTOR DE EMISIÓN DE NO <sub>x</sub> , EN FUNCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE POTENCIA DEL MOTOR PARA 6 TIPOS DE<br>AERONAVES CON DISTINTAS POTENCIAS NOMINALES [12] .....        | 52 |
| FIGURA 19: | MOVIMIENTO DE AERONAVES SEGREGADAS POR TIPO DE ACTIVIDAD QUE REALIZAN DURANTE LA OPERACIÓN .....                                                                             | 60 |
| FIGURA 20: | OPERACIONES DISTRIBUIDAS SEGÚN REGIÓN Y ACTIVIDADES AÉREAS.....                                                                                                              | 61 |
| FIGURA 21: | TOTAL DE OPERACIONES AÉREAS SEGMENTADAS POR REGIÓN Y TIPO DE AERONAVE .....                                                                                                  | 62 |
| FIGURA 22: | CANTIDAD DE MOVIMIENTOS AÉREOS SEGMENTADOS POR AERÓDROMO Y TIPO DE AERONAVE .....                                                                                            | 63 |
| FIGURA 23: | PORCENTAJE DE EMISIÓN DE CO CON RESPECTO AL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN CICLO LTO UNITARIO.....                                                                                | 67 |
| FIGURA 24: | EMISIONES TOTALES DE CO Y NO <sub>x</sub> EN AÑO 2015 POR AERONAVE .....                                                                                                     | 68 |
| FIGURA 25: | TONELADAS DE CO <sub>2</sub> EMITIDAS EN AÑO 2015 POR AERONAVE.....                                                                                                          | 68 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 26: TONELADAS DE CO EMITIDAS EN LOS AERÓDROMOS DEL PAÍS EN EL 2015 .....                  | 71 |
| FIGURA 27: TONELADAS DE NOx EMITIDAS EN LOS AEROPUERTOS DEL PAÍS EN EL 2015 .....                | 73 |
| FIGURA 28: TONELADAS DE CO2 EMITIDAS EN LOS AEROPUERTOS DEL PAÍS EN EL 2015 .....                | 74 |
| FIGURA 29: FLOTA DE AERONAVES EN LAS OPERACIONES DE AMB EL 2015 .....                            | 76 |
| FIGURA 30: EMISIONES FASE CRUCERO PARA AMB EN EL AÑO 2015 SEGMENTADAS POR AERONAVE .....         | 79 |
| FIGURA 31: MAPA DE ARTURO MERINO BENÍTEZ Y RUTAS AÉREAS [41] .....                               | 80 |
| FIGURA 32: MAPA FÍSICO DE AMB CON EMISIONES ANUALES DE CO2 POR AEROVÍA Y MODELO DE AERONAVE..... | 81 |
| FIGURA 33: COMPARACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN LTO DE IPCC Y EL PRESENTE ESTUDIO.....             | 87 |
| FIGURA 34: PRINCIPALES EMISIONES AEROPORTUARIAS ANUALES POR TIPO DE AERONAVE, AÑO 2015.....      | 98 |

## Índice de Tablas

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1: EXTRACTO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTUDIO DE LA JAC PARA LOS AÑOS 2013, 2020 Y 2030 [11].....                              | 17 |
| TABLA 2: CICLOS ESTÁNDAR DE ATERRIZAJE Y DESPEGUE EN TÉRMINOS DEL AJUSTE DE EMPUJE Y TIEMPO EMPLEADO PARA CADA MODO DE OPERACIÓN [9]..... | 26 |
| TABLA 3: BASES PARA CADA NIVEL METODOLÓGICO [21] .....                                                                                    | 29 |
| TABLA 4: OPERACIONES TOTALES EFECTUADAS EN CHILE EL AÑO 2015 SEGÚN BITÁCORAS PÚBLICAS DE LA JAC [26].....                                 | 35 |
| TABLA 5: COMBUSTIBLE QUEMADO Y CONTAMINANTES ESTIMADOS MEDIANTE AEM [37].....                                                             | 43 |
| TABLA 6: COEFICIENTES PARA CÁLCULO DE EMISIONES PROPORCIONALES [37] .....                                                                 | 44 |
| TABLA 7: FACTORES DE EMISIÓN PARA NIVEL 1 Y LTO DOMÉSTICOS [9].....                                                                       | 45 |
| TABLA 8: FACTORES DE EMISIÓN PARA VUELOS INTERNACIONALES EN NIVEL 1 [38].....                                                             | 46 |
| TABLA 9: FACTORES DE EMISIÓN PARA AERONAVES EJEMPLO Y EL CONTAMINANTE CO [9] .....                                                        | 47 |
| TABLA 10: INFORMACIÓN REGISTRADA EN BITÁCORA DE ACTIVIDADES UTILIZADA PARA EL INVENTARIO.....                                             | 52 |
| TABLA 11: ACTIVIDADES AÉREAS SEGÚN CÓDIGO DGAC Y DESCRIPCIÓN .....                                                                        | 55 |
| TABLA 12: AERÓDROMOS Y AEROPUERTOS INCLUIDOS EN EL ESTUDIO SEGMENTADOS POR REGIÓN .....                                                   | 56 |
| TABLA 13: EMISIONES TOTALES POR REGIÓN PARA LOS CONTAMINANTES MÁS IMPORTANTES DENTRO DEL INVENTARIO NACIONAL .....                        | 64 |
| TABLA 14: FLOTA NACIONAL POR TIPO DE MOTOR Y PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN.....                                                             | 65 |
| TABLA 15: LTOs DE LAS AERONAVES MÁS CONTAMINANTES DE NOx Y CON MAYOR CONSUMO DE COMBUSTIBLE .....                                         | 66 |
| TABLA 16: PRINCIPALES EMISIONES EN TONELADAS AÑO, SEGMENTADAS POR AERÓDROMO.....                                                          | 69 |
| TABLA 17: FRECUENCIA DE ACTIVIDADES REALIZADAS EN AMB EN EL 2015.....                                                                     | 75 |
| TABLA 18: EMISIONES LTO DE AMB EN EL AÑO 2015.....                                                                                        | 77 |
| TABLA 19: INVENTARIO DE CONTAMINANTES DE AMB EN LOS DOS CICLOS DE OPERACIÓN, SEGREGADOS EN NACIONALES E INTERNACIONALES.....              | 78 |
| TABLA 20: EMISIÓN DE CO2 POR AEROVÍAS EN MILES DE TONELADAS AL AÑO PARA DIFERENTES MODELOS DE NAVES .....                                 | 82 |
| TABLA 21: EXTRACTO DE LAS EMISIONES POR CICLO LTO EXPUESTOS EN LA GUÍA DE INVENTARIOS DE LA EEA [9] .....                                 | 83 |
| TABLA 22: EXTRACTO DE LOS LTOs CALCULADOS EN EL ESTUDIO COMPARADOS CON LA EEA .....                                                       | 84 |
| TABLA 23: EXTRACTO LTOs PARA AERONAVES TÍPICOS SEGÚN IPCC [23] .....                                                                      | 85 |
| TABLA 24: EXTRACTO DE LOS LTOs CALCULADOS EN EL ESTUDIO COMPARADOS CON IPCC.....                                                          | 86 |
| TABLA 25: VENTA DE COMBUSTIBLES PARA LA AVIACIÓN DURANTE EL AÑO 2015 EN CHILE Y EN RM [42].....                                           | 88 |
| TABLA 26: COMPARACIÓN CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LTO A NIVEL NACIONAL .....                                                                | 88 |
| TABLA 27: RESULTADOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LOS AERÓDROMOS DE RM SEPARADOS EN TIPO DE COMBUSTIBLE. ...                              | 89 |
| TABLA 28: CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN AMB EL 2015 Y PORCENTAJE SEGÚN CNE .....                                                              | 90 |

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABLA 29: COMPARACIÓN RESULTADOS INVENTARIO DGAC Y ESTUDIO PROPIO, AÑO 2015 [28] .....                                                                               | 91  |
| TABLA 30: EMISIONES VUELOS COMERCIALES DEL AEROPUERTO MADRID-BARAJAS [8].....                                                                                        | 92  |
| TABLA 31: RESULTADOS DEL ESTUDIO EN VUELOS COMERCIALES, COMPARATIVOS AL AEROPUERTO ESPAÑOL.....                                                                      | 92  |
| TABLA 32: RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE EL INVENTARIO DE TEXAS Y EL NACIONAL PARA EL AÑO 2015 [47] .....                                                             | 94  |
| TABLA 33: EMISIONES ANUALES DE CO, NOX Y CO2 DISTRIBUIDAS POR REGIÓN .....                                                                                           | 97  |
| TABLA 34: ESTADÍSTICA DE OPERACIONES INFORMADAS POR LA JAC POR AERÓDROMOS Y AEROPUERTOS [26].....                                                                    | 107 |
| TABLA 35: NÚMERO DE LTOs POR AERONAVE, SEGREGADOS EN INTERNACIONAL Y NACIONAL. LAS NAVES MARCADAS CON CELESTE<br>CORRESPONDEN A LAS UTILIZADAS EN ESTE ESTUDIO ..... | 109 |
| TABLA 36: EXTRACTO FACTORES DE EMISIÓN POR MOTOR, AERONAVE Y MODOS DE OPERACIÓN, ORIGINALES DEL BANCO DE DATOS<br>DE EMISIÓN DE OACI, EN UNIDAD [KG/S/ENGINE] .....  | 114 |
| TABLA 37: EXTRACTO BASE DE DATOS ESTIMACIONES FASE CCD DE LA EEA, NAVE EJEMPLO B763 .....                                                                            | 130 |
| TABLA 38: AERONAVES DISPONIBLES PARA CALCULAR EN FASE CCD CON CATEGORÍAS DESCRIPTIVAS .....                                                                          | 132 |
| TABLA 39: EMISIONES AEROPORTUARIAS NACIONALES EN TONELADAS AL AÑO PARA EL 2015 .....                                                                                 | 138 |
| TABLA 40: LTOs POR RUTAS AÉREAS POR DESTINO (NORTE, SUR) DE AMB, SEGÚN NAVES A319, A320, A321 Y B763 .....                                                           | 139 |

## Introducción

Son ineludibles y evidentes las consecuencias que ha generado la masiva y excesiva utilización de los combustibles fósiles desde la revolución industrial, repercutiendo en la calidad del aire, en el medio ambiente observado a través del fenómeno de cambio climático en nuestro planeta, tal como lo indica el quinto informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), donde se expone claramente la influencia de las actividades humanas en las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, siendo estas las más altas de la historia [1].

Los impactos de los recientes eventos extremos conexos al clima, como olas de calor, sequías, inundaciones e incendios forestales, muestran una importante vulnerabilidad y exposición de algunos ecosistemas y muchos sistemas humanos a la actual variabilidad climática [1]. Es por esto que hace ya bastante tiempo, se han creado y desarrollado organizaciones e iniciativas a nivel internacional y local contra el cambio climático, tales como la Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático (CMNUCC), los mercados de carbono, el empuje a la descarbonización de la matriz energética con fuentes renovables, generación distribuida, electromovilidad, entre otras.

Dentro de estas iniciativas, existen también los inventarios de emisiones contaminantes, definidos como una contabilización de cada gas de efecto invernadero (GEI) antropógenos liberados o absorbidos desde la atmósfera en un territorio y en un período específico [2]. El objetivo de los inventarios no es solo cuantificar emisiones, sino que además ayudan en la toma de decisiones a nivel gubernamental para acciones de mitigación y abatimiento, logrando políticas públicas de calidad y con trazabilidad en todos los sectores contaminantes.

Así pues, se realiza este estudio como una pequeña contribución a investigar este tema medioambiental tan crucial hoy en día, en particular en nuestro país, actualizando el inventario nacional de emisiones GEI emanados por la industria aeronáutica en Chile. Las grandes fuentes de contaminación en Chile provienen principalmente de los medios de transporte, las actividades industriales y la calefacción de las viviendas [3], por lo tanto, al estudiar las emisiones del sector aeronáutico, se contribuye de manera significativa a la toma de decisiones responsable y abre las posibilidades de mitigación de los contaminantes atmosféricos.

A pesar de que el aporte mundial de Chile en las emisiones de GEI corresponden a un 0,26%, considerando solo la combustión de hidrocarburos, es importante contabilizar las emisiones de nuestro país, puesto que, según estudios del IPCC, el país es un territorio vulnerable a los efectos del cambio climático, debido a la topografía de relieves pronunciados y muy variables, además del riesgo que presume el agujero en la capa de ozono en la zona sur del país. Esta geografía tan especial lo hace susceptible en gran medida a sequías y desertificación [4], surgiendo entonces la necesidad de cuantificar las emisiones y generar una visión global de que las actividades de quema de hidrocarburos son repercutidas en el mundo entero, con una gran probabilidad de que nuestro territorio se vea realmente perjudicado.

## Objetivos

### Objetivo General

Estimar las emisiones contaminantes producidas por el sector de transporte aéreo en Chile para el año 2015 a nivel de actividad aeroportuaria

### Objetivos Específicos

- Revisar antecedentes metodológicos internacionales para la determinación de emisiones por actividad aérea.
- Revisar antecedentes metodológicos nacionales sobre estimación de emisiones y normas asociadas al sector aéreo.
- Aplicar metodología de emisiones *LTO* a las operaciones del año 2015 para todos los aeropuertos del país.
- Generar un mapa de las emisiones para el aeropuerto Arturo Merino Benítez, segmentadas por rutas aéreas.

## Capítulo 1: Estado del Arte

Primero que todo, se debe entender el concepto de emisiones contaminantes a nivel de calidad del aire, puesto que es el foco principal de este estudio. De acuerdo a una definición presentada por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), un contaminante es definido como:

todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental [5].

Los contaminantes son emitidos por distintas fuentes o a partir de distintos orígenes, ya sea mediante procesos naturales o también por actividades humanas, por lo que las emisiones son clasificadas según la naturaleza de la fuente emisora, pudiendo ser biogénicas o antropogénicas [5].

Las emisiones biogénicas son todas las emisiones producidas por eventos naturales propios de la naturaleza, como lo es la emisión de metano por descomposición de materia orgánica o los gases emitidos en erupciones volcánicas [5]. Por otro lado, las emisiones antropogénicas, y de acuerdo a su propia etimología, corresponden a fuentes emisoras por la actividad o intervención humana, como la quema de combustibles para el transporte, generación de energía eléctrica, la industria, etc., siendo estas las protagonistas del estudio en cuestión [5].

Las emisiones antropogénicas dependen principalmente del tamaño y estilo de vida de la población, la actividad económica, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática [1]. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA), la actividad económica que mayores emisiones de CO<sub>2</sub> presenta es el sector energía, con casi un 70% del total, seguida de la agricultura y procesos industriales (ver Figura 1). Debido a esto, el sector energético suele ser el más importante de los inventarios de emisiones de GEI y, comúnmente, aporta más del 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y 75% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero de los países desarrollados [6].

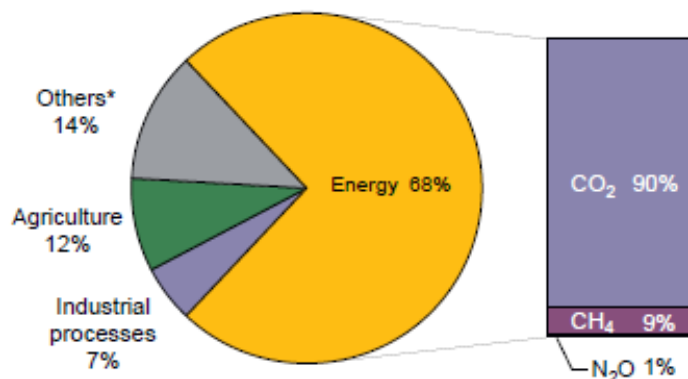


Figura 1: Proporciones estimadas de emisiones GEI antropogénicas globales en 2014 [7]

El segmento “Otros” corresponde a quema de biomasa a gran escala, descomposición posterior a la quema, descomposición del carbón, emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O provenientes de las emisiones no agrícolas de NO<sub>x</sub> y NH<sub>3</sub>, residuos y uso de solventes [7].

Según los sectores que queman combustibles fósiles, en 2015 dos de ellos produjeron 2/3 de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>: electricidad y generación de calor, adjudicándose el 42%, y el sector transporte emitiendo el 24% [7]. Los sectores y su participación en emisión de CO<sub>2</sub> se observan en la Figura 2, donde el sector “Otro” incluye la agricultura/silvicultura, pesca e industrias de energía distintas a electricidad y calor.

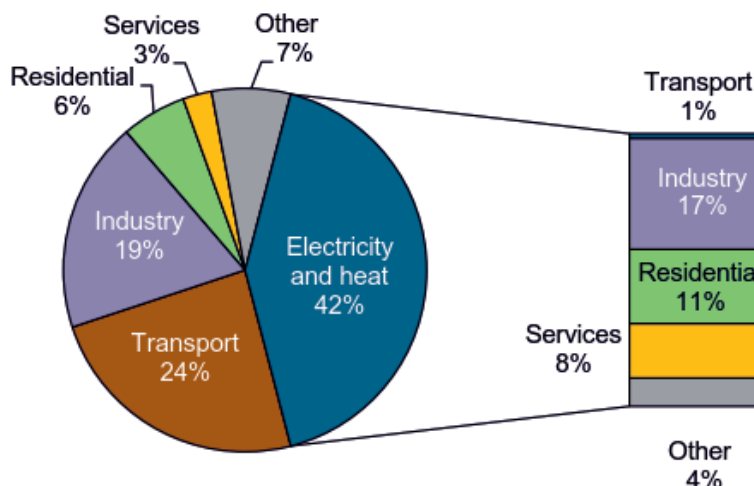


Figura 2: Emisiones globales de CO<sub>2</sub> por quema de combustible según sector, 2015 [7]

Con respecto a la aeronáutica, el IPCC estima que la contribución total de las emisiones de las aeronaves a las emisiones antropogénicas globales de CO<sub>2</sub> es del orden del 3,5% [8]. Este número puede parecer pequeño, sin embargo, es solo una industria que por sí sola a nivel mundial emite esa cantidad de contaminantes. Se debe considerar también, que gran parte de estas emisiones son inyectadas casi directamente en la parte superior de la tropósfera y la inferior de la estratósfera [9]. Esto es particularmente perjudicial, puesto que, al emitir contaminantes en estas altitudes, donde se encuentran las grandes masas de aire de la Tierra, se genera propagación de los GEI, contribuyendo directamente a la contaminación global, repercutiendo en el cambio climático general.

Además, la magnitud de los contaminantes de esta fuente móvil crece en la medida en que el volumen de tráfico aéreo lo haga con el tiempo, situación que ya es posible ver en la actualidad. En el gráfico presentado en la Figura 3 se puede observar el aumento que ha tenido la industria aeronáutica, así como también el resto del transporte en el mundo. Según datos de la IATA, para el año 2015, el tráfico mundial de pasajeros fue de 3.545 millones de personas con un crecimiento de 6,5%, lo que equivale a 250 millones de personas adicionales transportadas en comparación al año 2014 [10].

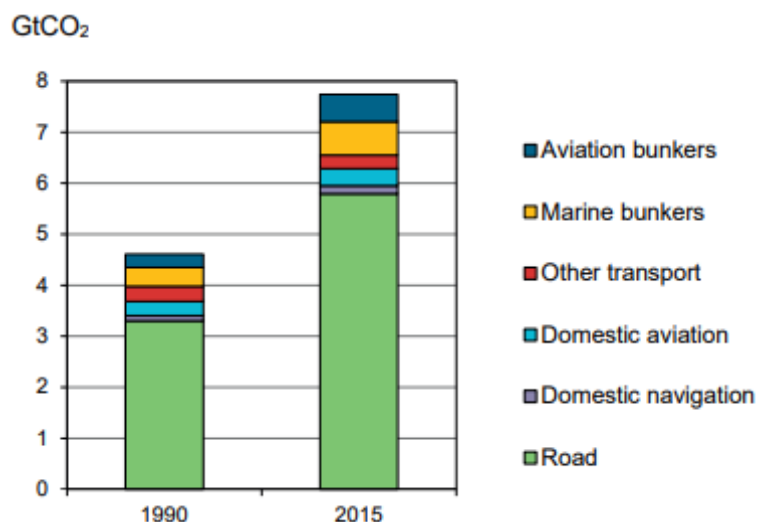


Figura 3: Emisiones de CO2 para el transporte a nivel mundial, 1990-2015 [7]

En términos de pronóstico, la EEA ha proyectado el tráfico aéreo al 2035 para Europa, como se observa en la Figura 4, determinando tres escenarios en aumento, cada uno menos favorable que el anterior, donde la línea gris corresponde a la línea base medida hasta el 2014. A pesar de las mejoras en tecnología que se han implementado últimamente en los motores aeronáuticos, estas no serán suficientes para disminuir las emisiones futuras de los próximos 20 años [9].

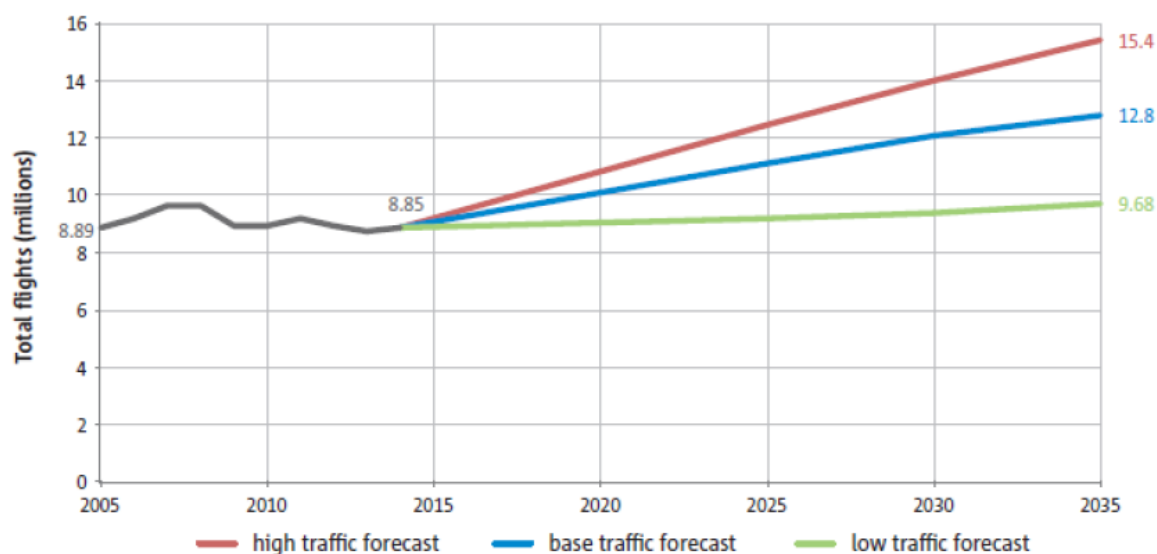


Figura 4: Pronóstico de la EEA para el tráfico aéreo europeo [9]

En la región Latinoamericana, el crecimiento para el año 2015 fue 9,3% con respecto al año anterior, alcanzando 265 millones de pasajeros transportados. Las proyecciones indican que para los próximos años el crecimiento será alrededor de un 6% anual [10].

Chile no está excluido de esta tendencia mundial de mercado. En el año 2013, la Junta de Aeronáutica Civil (JAC) realizó un estudio sobre estimaciones de demandas de pasajeros

proyectadas en los años 2020 y 2030 [11]. La Tabla 1 adjunta muestra un extracto de los resultados calculados para los pasajeros del aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB). Se observa claramente el crecimiento porcentual en los dos periodos de proyección, tanto para vuelos nacionales como los internacionales.

**Tabla 1: Extracto de los resultados obtenidos en estudio de la JAC para los años 2013, 2020 y 2030 [11]**

| Pasajeros<br>AMB       | 2013     |             | 2020     |             | 2030     |             |
|------------------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                        | En miles | Crec. Anual | En miles | Crec. Anual | En miles | Crec. Anual |
| <b>Nacionales</b>      | 8.804,3  | 18,5 %      | 16.974,7 | 6,1 %       | 23.637,4 | 3,4 %       |
| <b>Internacionales</b> | 6.828,2  | 0,6 %       | 10.621,0 | 6,9 %       | 14.910,5 | 3,5 %       |

## 1.1 Emisiones contaminantes del sector aéreo

Las emisiones contaminantes del sector aéreo son mayoritariamente emitidas por el combustible quemado en los motores de las aeronaves. El combustible utilizado es kerosene de aviación y gasolina de aviación [9]. Esto será explicado en detalle en los capítulos siguientes.

Los principales productos obtenidos por la combustión son [9]:

- Dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>
- Óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>
- Vapor de agua
- Metano, CH<sub>4</sub>
- Monóxido de carbono, CO
- Óxidos de azufre, SO<sub>x</sub>
- Material particulado, MP

La parte superior de la Figura 5 esquematiza la combustión ideal y real generada en un motor de aeronave y las sustancias que resultan de este proceso de combustión. A su vez, la imagen inferior, indica las proporciones de cada gas a la entrada y a la salida del motor.

De acuerdo al a guía técnica de la EEA sobre las emisiones de la aeronáutica, estas se componen aproximadamente de un 70% de CO<sub>2</sub>, un poco menos del 30% de H<sub>2</sub>O y menos del 1% de NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, COVNM (compuestos orgánicos volátiles no metánicos), material particulado y otros componentes incluyendo contaminantes peligrosos [9].

En el caso del metano (CH<sub>4</sub>), este puede ser emitido por las turbinas de gas durante el periodo ralenti<sup>1</sup> y por los motores con tecnología antigua, pero los datos más recientes sugieren que poco o nada de CH<sub>4</sub> es emitido en los motores modernos [9].

<sup>1</sup> El periodo ralenti para los aviones, consiste en el momento en que la palanca aceleradora está al mínimo de potencia; caso en que el avión planea. Se utiliza en aterrizajes para perder velocidad [56].

Las emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyen a los niveles de contaminación global, es decir, es dispersado en la atmósfera al ser emitido. Las emisiones de CO y HC del motor a baja altura contribuyen marginalmente a los niveles de polución local de estos contaminantes. Por su parte, las emisiones de NO<sub>x</sub> liberadas a grandes altitudes (tropósfera superior y estratósfera inferior), produce la formación de ozono en la atmósfera, gas de efecto invernadero, consecuentemente generando cambio climático [12].

Sin embargo, existe un *trade-off* con respecto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, puesto que disminuyen las concentraciones de metano en la atmósfera, gas definido como GEI, lo que genera una incertidumbre en el impacto que presenta este contaminante a la atmósfera emitido por la industria aeronáutica [12].

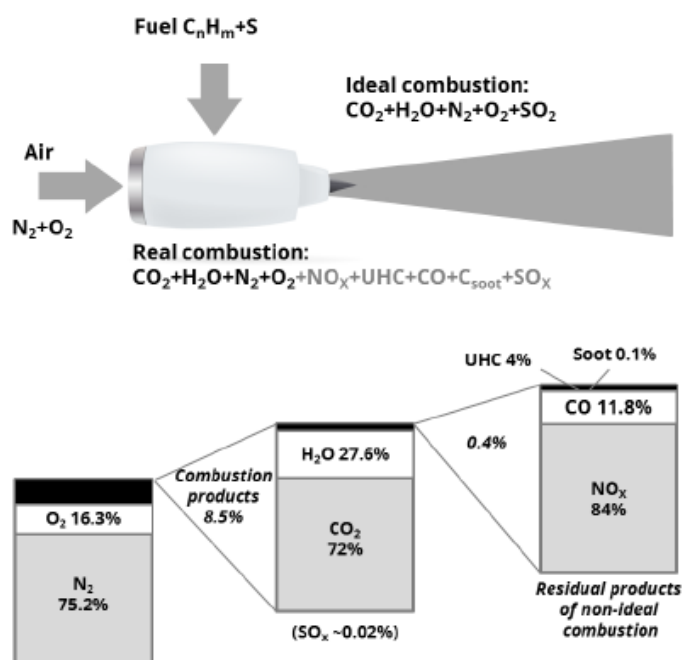


Figura 5: Representación de las emisiones contaminantes emitidas por un motor aeronáutico [9]

En relación a los ciclos de operación, una gran parte del combustible es consumido fuera del ciclo LTO. Los estudios indican que la mayor parte del NO<sub>x</sub> (60-80%), SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (80-90%) se emite a altitudes superiores a 1000 [m]. Para el CO es de alrededor del 50% y para los VOC (compuestos orgánicos volátiles) es del 20 – 40% [9].

Ahora bien, el foco de este estudio es estimar las emisiones de combustión provenientes del tráfico aéreo, centrándose solo en las emisiones por operación de vuelo como tal, dejando fuera las emisiones generadas por el proceso completo. Es decir, no se considerarán las actividades de operación en tierra que emitan contaminantes como el mantenimiento de las aeronaves, manejo de combustible, transporte de pasajeros, entre otras (véase Anexo 1).

De acuerdo con lo anterior, las emisiones del tráfico aéreo dependerán principalmente de las cinco variables siguientes [9]:

- Tipo de aeronave
- Tipo de motor
- Ubicación (altitud) y modo de operación
- Tipo de Combustible
- Volumen de tráfico (número de vuelos y distancia recorrida).

Estas variables son descritas con mayor detalle en las siguientes secciones.

### 1.1.1 Tipo de aeronave

Existen múltiples aeronaves volando alrededor del mundo, todas con distintas capacidades, requerimientos, potencias, tamaños, etc. Según los registros de la Organización de Aviación Civil Internacional<sup>2</sup>, OACI (ICAO por sus siglas en inglés), existen más de 10.000 tipos distintos de naves, las cuales son clasificadas mediante un código alfanumérico otorgado por la misma (de igual forma la IATA<sup>3</sup> proporciona sus propios códigos), los cuales agrupan aeronaves que son muy similares con el objetivo de identificar de una forma reconocida internacionalmente a las diferentes aeronaves. Dentro de este estudio, se utilizan exclusivamente códigos OACI.

Esta organización provee un documento, 'DOC 8643 – Designadores de tipo de aeronave', en donde se enlistan todas las aeronaves registradas por esta organización, clasificándolas según el código por tipo, la empresa de manufactura, el modelo de la nave; por descripción física, número y tipo de motor, y finalmente se encuentra una categoría por tamaño, distinguiendo 3 tipos: light (L), medium (M) y heavy (H). Por ejemplo, el código A320, representa un Airbus A-320, adjunto en la Figura 6, con 2 motores tipo turbojet (turborreactor) y de categoría M.



Figura 6: Avión de la empresa AIRBUS, tipo A320. Fuente: Wikimedia Commons

<sup>2</sup> La OACI es un organismo especializado de las Naciones Unidas, el cual tiene la responsabilidad mundial de establecer normas, métodos recomendados y orientación sobre los diversos aspectos de la aviación civil internacional, lo cual incluye la protección del medio ambiente [50].

<sup>3</sup> IATA, *International Air Transport Association*, es una asociación gremial internacional de aerolíneas, fundada en 1945 y que actualmente representa a 265 aerolíneas alrededor del mundo, teniendo como objetivos principales la gestión integral de las aerolíneas y la seguridad operacional [55].

### 1.1.2 Motores

Como se muestra en la Figura 7, los motores aeronáuticos se dividen en tres grandes categorías a nivel internacional: motores alternativos, motores de turbina a gas (a reacción) y motores cohete [13].

Los motores alternativos, comúnmente denominados pistón, son una clasificación más dentro de los MCI convencionales. Utilizan mecanismos de pistón y cigüeñal para transformar la energía del combustible quemado en la cámara de combustión, lo cual impulsa las hélices, generando el movimiento en la aeronave [9].

Por otro lado, los motores cohete son utilizados en la industria de misiles, lanzadores y vehículos espaciales, siendo los motores más potentes fabricados actualmente. Por lo tanto, no se encuentran dentro del alcance de este estudio y tampoco en el mercado aeronáutico chileno.

Los motores de turbina a gas son los empleados habitualmente en aviones comerciales, aviones privados de largo alcance y helicópteros de mayor tamaño (los pequeños aún funcionan con motores pistón) debido a la gran potencia que estos entregan [13].

Tal como se observa en la Figura 7, existen tres tipos principales de este tipo de motor: turboreactores, turbohélice y el turboeje.

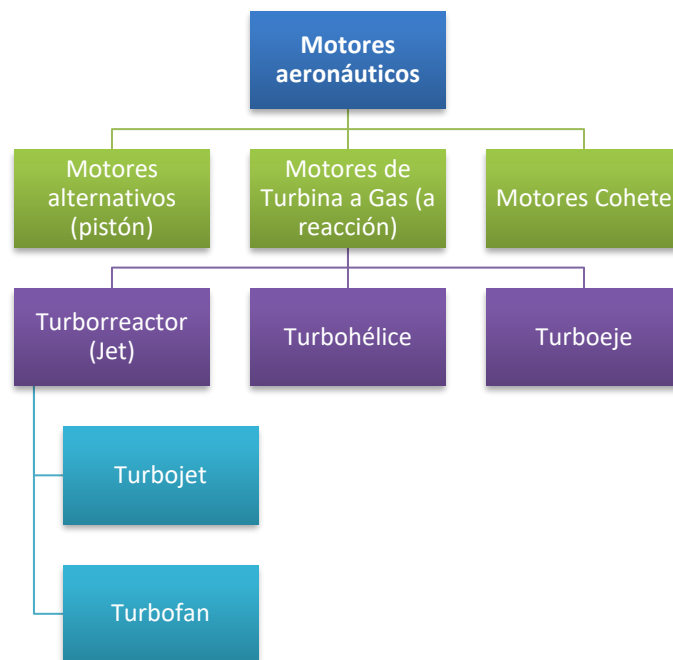


Figura 7: Diagrama de clasificación para motores utilizados en la aeronáutica [9] [13]

El **turbojet** es denominado así por su concepto de “propulsión a chorro”. Este tipo de turbina tiene un funcionamiento continuo, a diferencia de los motores pistón, y consta de las mismas fases que los motores convencionales, tal como se muestra en la Figura 8: admisión, compresión, combustión y escape [13].

En la etapa de compresión, se utilizan compresores axiales o centrífugos, comprimiendo el aire a presiones entre 400 a 3.200 [kPa]. Luego el aire entra a la cámara de combustión quemándose con el combustible de manera continua. Posteriormente, el aire que ahora se encuentra a alta presión y temperatura entra en la turbina, expandiéndose parcialmente y, en consecuencia, el compresor obtiene la energía necesaria para moverse (se encuentra acoplado a la turbina). Finalmente, el aire y los gases de escape pasan a través de una tobera en la etapa de escape, acelerándose hasta la presión de salida, generando el impulso o empuje de la aeronave [13].

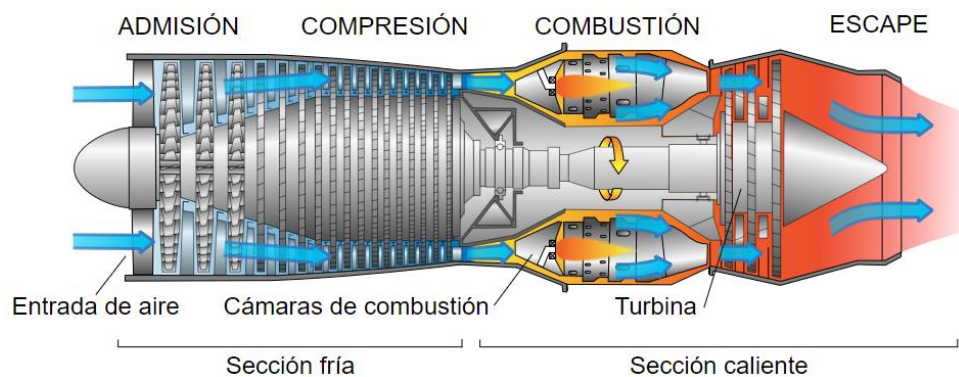


Figura 8: Esquema ilustrativo de motor turbojet [14]

En el caso del motor **turbofan**, mostrado en la Figura 9, que posee un sistema de flujo axial, los gases generados por la turbina en su mayoría accionan un ventilador (fan), situado en la zona de admisión, produciendo la mayor parte del empuje. Los gases de escape proporcionan aproximadamente solo el 30% del impulso [13].

Este tipo de motor es utilizado por la mayoría de los aviones a reacción modernos (comerciales) por su elevado rendimiento y relativa economía de combustible en relación a un motor turbojet, además de ser el que alcanza el mayor empuje posible con más de 50 kN de fuerza [13].

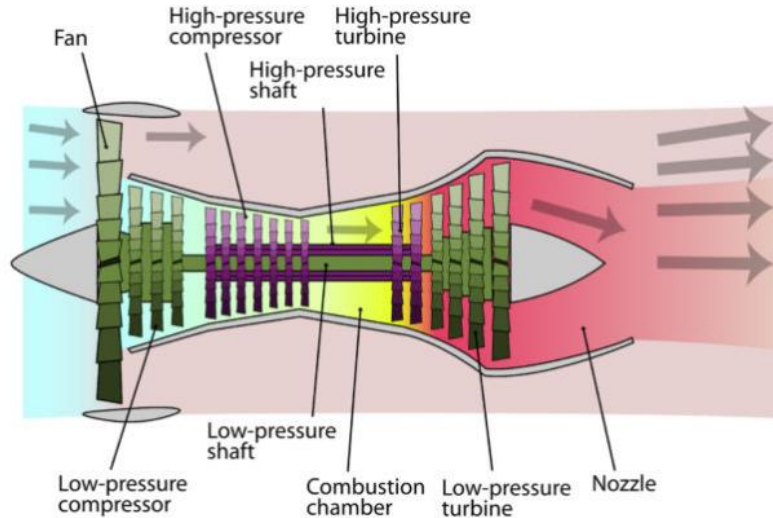


Figura 9: Esquema ilustrativo de un motor turbofan [15]

Por su parte, los motores **turbohélice** o *turboprop*, de una manera similar al turbofan, utilizan la totalidad de los gases de escape para accionar el movimiento de una hélice en la parte frontal del motor [13], como se observa en la Figura 10.

Estos motores presentan una gran economía de funcionamiento, permitiendo potencias operativas entre los motores a pistón y las turbinas, por lo que su uso se ve restringido a propulsar aeronaves con mayor autonomía, velocidad, tamaño y/o rendimiento que una nave con motor a pistón, pero que no presentan la misma velocidad y distancias tan largas como un turbofan o turbojet [13].

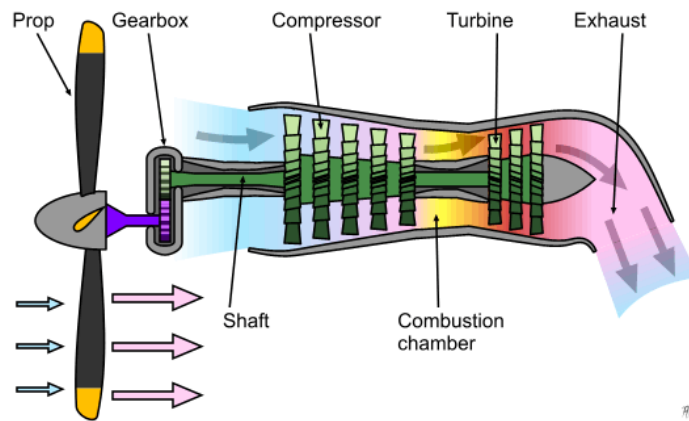


Figura 10: Esquema ilustrativo de un motor turbohélice [13]

Finalmente, se incluyen los motores **turboeje**. Este tipo está optimizado para potencia en el eje en lugar de empuje, los cuales se utilizan comúnmente en aplicaciones que requieren una potencia alta y sostenida, un alto grado de confiabilidad, tamaño pequeño y bajo peso bajo, como en helicópteros y unidades de potencia auxiliar de aeronaves [9].

Como se mencionó en las descripciones anteriores, existe un concepto importante en los motores aeronáuticos correspondiente al empuje, siendo la fuerza o impulso total que el motor es capaz de generar. Este empuje puede ser modificado o ajustado por requerimiento de mayor o menor potencia durante la operación de vuelo.

Se acuña entonces el término de empuje total, el cual es desarrollado en la tobera de salida del motor. El empuje total incluye tanto el empuje generado por la cantidad de movimiento de los gases de escape como el empuje adicional resultante de la diferencia de presión en la tobera y la presión ambiente. El empuje total no toma en consideración las cantidades de movimiento del aire que entra y la del combustible [16].

Sin embargo, cuando se trata el término “empuje” de una turbina de gas, normalmente se refiere al *empuje neto*, a menos que se diga lo contrario. El empuje neto de un motor es el resultado de las variaciones en presión y cantidades de movimiento dentro del motor por combustible y por el flujo de aire [16].

Algunos de estos cambios producen fuerzas hacia delante, mientras otros producen fuerzas hacia atrás. Las fuerzas hacia adelante son producidas por el aumento de la energía contenida en el combustible, el aumento de la energía por presión debido a la compresión o por el cambio de energía cinética a energía de presión, como en el difusor. Inversamente, resultan fuerzas hacia atrás o pérdidas de empuje cuando la energía calorífica o la de presión disminuye o es convertida en energía cinética, como en la tobera [16]. La Figura 11 resume la distribución del empuje a través de un motor turboreactor.

Por lo tanto, el *empuje neto asignado* de cualquier motor se determina por la diferencia entre las fuerzas que empujan hacia adelante y las fuerzas que empujan hacia atrás [16]. Esta asignación o ajuste queda en función de la potencia requerida durante la trayectoria de vuelo, como se dijo en un principio.

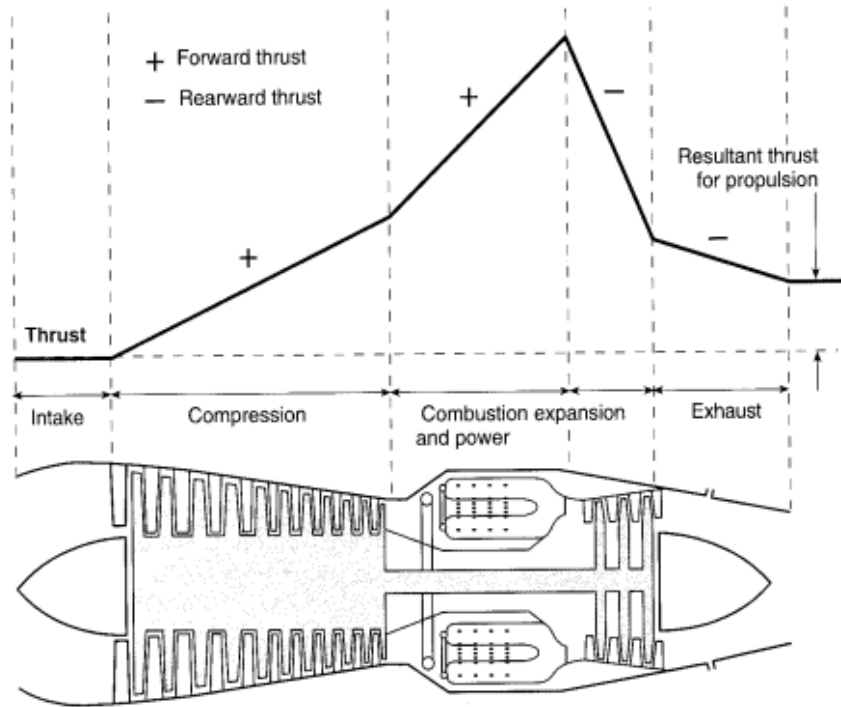


Figura 11: Distribución del empuje neto a lo largo de un motor turboreactor [16]

### 1.1.3 Modos de Operación

Un vuelo típico de una aeronave considera 9 etapas típicas o modos de operación [9], las cuales se agrupan en actividades de llegada y de salida (LTO) y actividades CCD, diferenciadas por la altitud a la cual se lleva a cabo la operación, además de otras actividades relacionadas al aeropuerto (véase Anexo 2 para otras actividades).

Las actividades de salida y llegada son operaciones cercanas al aeropuerto, ocurridas a una altura de 3000 [pies] (914.4 [m]), dentro del ciclo LTO, tal como se muestran en la Figura 12, observándose la división en el ciclo completo a los 3000 [pies] de altura [9]. Las actividades se dividen en las siguientes operaciones:

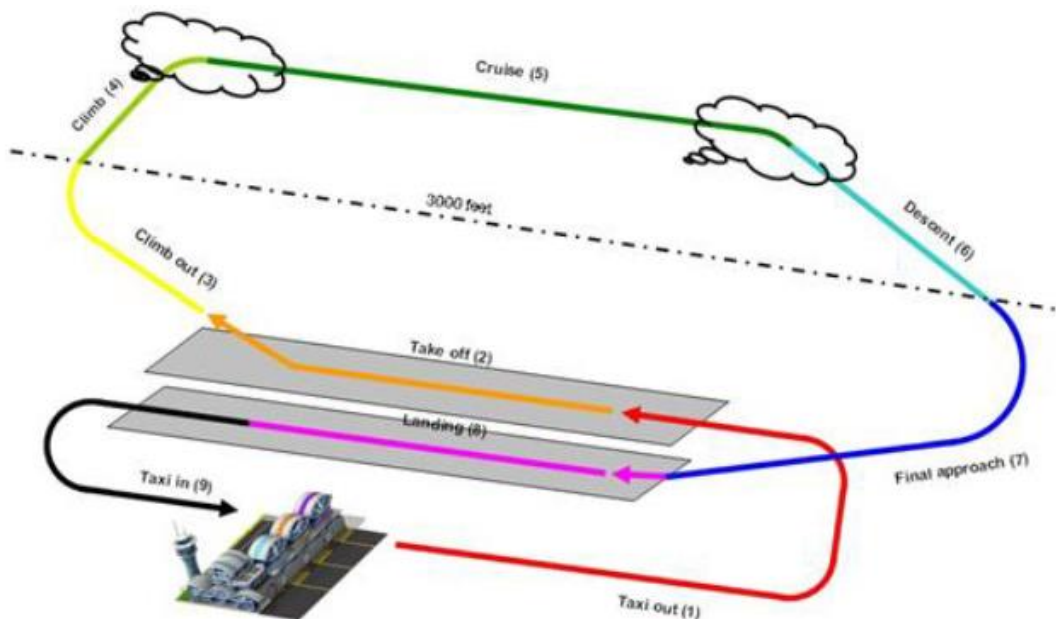
- En la **salida** se incluye el taxi-out, despegue y subida
- en la **llegada** se incluyen las fases de aproximación final, aterrizaje y taxi-in,

Por otro lado, las actividades CCD tienen lugar por sobre los 3000 [pies]. Estas actividades no tienen un límite superior de altura, pues pueden operar a un nivel más alto según condiciones de operación. El CCD es un ciclo por sí mismo, donde se incluye la subida, el crucero y descenso hasta el inicio de la fase de llegada [9].

Las etapas de vuelo típicas se describen a continuación, enumeradas tal como se muestra en la Figura 12 [9]:

- 1) **Taxi-out:** movimiento controlado de una aeronave en el suelo, por su propia potencia, entre su área de estacionamiento y el punto de la pista desde donde se producirán sus operaciones de despegue.
- 2) **Despegue** (Take-off): es la fase de vuelo en la que un avión se mueve desde la pista hasta el despegue.
- 3) **Salida** (Climb out): en la Figura 12 se divide en 'salida' y 'subida'. Es la fase de vuelo durante la cual la aeronave sube a una altitud de crucero determinada después del despegue.
- 4) **Subida** (Climb): Ídem a la etapa 3, pertenece al ciclo CCD.
- 5) **Crucero** (Cruise): ocurre entre las fases de subida y descenso. Es generalmente la parte más larga de un viaje y finaliza cuando el avión se aproxima a su destino iniciando la fase de descenso en preparación para el posterior aterrizaje.
- 6) **Descenso** (Descent): es la fase de vuelo durante la cual el avión disminuye su altitud en preparación para el aterrizaje (es el opuesto de la fase ascenso).
- 7) **Aproximación final** (Final approach): es la última etapa del aterrizaje en aire del avión, ocurriendo cuando éste está en línea con la pista y desciende para aterrizar.
- 8) **Aterrizaje** (Landing): es la parte del vuelo donde la aeronave vuelve a la tierra, recorriendo la pista hasta el punto en que comienza el taxi-in.
- 9) **Taxi-in:** es el movimiento de un avión en tierra, por su propia potencia. Ocurre desde que la aeronave detiene su carrera de aterrizaje hasta el punto en que se sitúa en tierra y apaga sus motores.

Figura 12: Fases típicas de operaciones en aeropuerto y en aire [9]



Por otro lado, el uso de la energía en el motor, y por lo tanto las emisiones, dependerá de en qué etapa de vuelo se encuentre la aeronave y del tiempo empleado en cada etapa [9]. La Tabla 2

muestra los modos de operación ocurridos en el ciclo LTO, los ajustes de potencia del motor en cada modo y el tiempo de operación. El tiempo real de funcionamiento varía según aeropuerto, el tráfico, de las condiciones climáticas, los tipos de aeronave, etc., además de que la data esté disponible, por lo cual los datos utilizados en este estudio son los especificados por defecto según OACI.

Es importante destacar que el modo de operación *Idle* o Inactivo en tierra es un conjunto de dos operaciones, ocurridas durante el despegue y el aterrizaje, taxi-out y taxi-in, respectivamente. Es por esto que el tiempo de operación es dividido en 1140 [s] y 420 [s] para cada fase señalada anteriormente.

**Tabla 2: Ciclos estándar de aterrizaje y despegue en términos del ajuste de empuje y tiempo empleado para cada modo de operación [9]**

| Modo Operación           | Ajuste de Empuje<br>(% del empuje estático máximo) | Tiempo en operación<br>[s] |
|--------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|
| Take-off                 | 100%                                               | 42                         |
| Climb out                | 85%                                                | 132                        |
| Final Approach + Landing | 30%                                                | 240                        |
| Idle (Taxi out/in)       | 7%                                                 | 1140 - 420                 |
| <b>Total</b>             |                                                    | 1974 [s] = 32.9 [min]      |

#### 1.1.4 Tipo de combustibles

Como se mencionó anteriormente, existen dos grandes grupos de combustibles utilizados en la aeronáutica [9]:

- **Gasolina de aviación**, para motores de combustión interna de cuatro tiempos o motores pistón (alternativos).
- **Kerosene de aviación**, usado en la aviación con motores a reacción.

Es importante destacar que cada motor está diseñado para un tipo de combustible en particular. Debido a esto, se debe utilizar solo el combustible que especifica el fabricante y no está permitido mezclar combustibles [17].

A continuación, se describen ambos grupos de combustibles de la aviación.

#### **Gasolina de Aviación o AVGAS**

La gasolina para la aviación es el combustible que utilizan los motores alternativos, denominado comercialmente **AVGAS**. Al igual que con todas las gasolinas, este es muy volátil<sup>4</sup> y extremadamente inflamable a temperaturas normales de operación [18]. Este combustible tiene especificaciones muy estrictas, puesto que es utilizado casi a nivel universal por los motores pistón, teniendo que soportar un amplio rango de temperaturas y presiones de operación atmosféricas y del motor [17]. Esta

<sup>4</sup> Volatilidad se entiende como qué tan fácil una sustancia se convierte de líquido a vapor [17].

generalización del combustible ocurrió debido a que el mercado de motores a pistón en el pasado era mucho más grande que es actualmente, por lo que en la actualidad se globalizó al AVGAS 100/130.

Esta denominación de numeración múltiple es debido a su octanaje<sup>5</sup>, aplicando dos clasificaciones a las gasolinas de aviación, mezcla pobre y mezcla rica, por lo que el AVGAS 100/130 significa que la clasificación de mezcla pobre es 100 y la clasificación de mezcla rica es 130 [18].

Hace algunos años, se introdujo una calificación adicional para permitir el uso de un combustible en motores diseñados originalmente para grados con menor contenido de plomo. Esta calificación se llama AVGAS 100LL, donde la LL significa *low lead* o bajo en plomo [18].

Además, para facilitar la identificación, el AVGAS 100LL es teñido de color azul, mientras que el AVGAS 100 es de color verde [18].

### *Kerosene de Aviación o Jet Fuels*

Las características de los combustibles de motores de turbina, o comúnmente denominados *jet fuels*, son significativamente diferentes de las del AVGAS. Los combustibles para motores de turbina son compuestos de hidrocarburos de mayor viscosidad con una volatilidad mucho más baja y puntos de ebullición más altos que la gasolina, por lo que es menos inflamable. En el proceso de destilación a partir del petróleo crudo, el kerosene se condensa a una temperatura más alta que la gasolina.

Molecularmente hablando, los *jet fuels* están compuestas de más carbono que un AVGAS [17]. Por lo general, tienen un mayor contenido de azufre que la gasolina y comúnmente se les agregan varios aditivos para controlar la corrosión, la oxidación, el hielo y el crecimiento microbiano y bacteriano, características que generalmente vienen a partir del fabricante [17].

Dentro de las categorías de estos combustibles, los más utilizados son el **Jet A** en EE.UU. y el **Jet A-1** para el resto del mundo, por lo que en la mayoría de los manuales de operación de motores se permite el uso de ambos combustibles [17].

Los dos tienen baja volatilidad y baja presión de vapor. Sus puntos de inflamación oscilan entre los 40 y 60 [°C]. En relación a su punto de congelación, el Jet A se congela a -40°F y el Jet A-1 a -52,6 °F [17].

Existen otros tipos de *jet fuels*, como el **Jet B** y el **TS-1**. El Jet B puede usarse como una alternativa al Jet A-1, pero debido a que es más difícil de manejar (mayor inflamabilidad), solo existe una demanda significativa en climas muy fríos, teniendo allí un mejor rendimiento [19]. Por su parte, el TS-1 es el grado principal de combustible de aviación disponible en los estados de Rusia y la CEI<sup>6</sup>. En

---

<sup>5</sup> Las clasificaciones de octanaje se dan a los combustibles para describir su resistencia a la detonación. Los combustibles con alta presión crítica y altos números de octano tienen la mayor resistencia [17].

<sup>6</sup> La Comunidad de Estados Independientes (CEI), es una organización compuesta por exrepúblicas soviéticas y otros países asiáticos.

relación al Jet A-1, este combustible tiene una volatilidad ligeramente más alta (punto de inflamación mínimo de 28 [°C]) y un punto de congelación más bajo (menor a -50 [°C]) [19].

## 1.2 Metodologías internacionales para inventarios de emisiones

Los inventarios de emisiones GEI se encuentran especificados en las Directrices del IPCC, con ya varias actualizaciones hasta hoy, las cuales fueron concebidas específicamente para que los países elaboren y declaren los inventarios de emisiones GEI. Es posible que también se exija que algunos países presenten inventarios de emisión de diversos gases del Sector Energía ante el Convenio de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP)<sup>7</sup> [6].

En el caso de Europa, la CEPE aprobó la Guía de inventario de emisiones para la generación de informes del Programa europeo para la Supervisión y Evaluación (EMEP/CORINAIR<sup>8</sup>) [6], metodología que actualmente es designada como EMEP/EEA, correspondiente a la utilizada en este estudio, existiendo una similitud importante con la metodología del IPCC, solo diferenciándose en los aspectos más técnicos. Esta guía de emisiones se explicará con mayor detalle en el capítulo siguiente.

Por su lado, EE.UU. confecciona sus inventarios a través de la Agencia de Protección ambiental (EPA). Para garantizar que el inventario sea comparable con otros países miembros de la CMNUCC<sup>9</sup>, la EPA utiliza metodologías consistentes con las recomendadas por el IPCC [20].

Siguiendo con las Directrices del IPCC de 2006, allí se proponen tres niveles (o tier) para estimar las emisiones procedentes de la quema de combustible fósil [6], con esto se refiere a todos los procesos involucrados en el sector energía, como la combustión móvil que es la que compete a este estudio, combustión estacionaria, emisiones fugitivas, transporte, inyección y almacenamientos geológicos de CO<sub>2</sub>. También las directrices incluyen otros sectores contaminantes: procesos industriales y uso de productos; agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra y desechos. Adicionalmente, las directrices incluyen un Método referencia, el cual sirve como método de control del cálculo por sector y para obtener una estimación de primer orden de las emisiones nacionales de los gases de efecto invernadero si es que la información local disponible es limitada [6].

En relación a los inventarios para la aviación, todos los niveles consideran como base la información sobre ciclos LTO, sin embargo, cada enfoque posee un requisito de información más preciso que el

---

<sup>7</sup> Hay 49 partes del Convenio de la CEPE sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia, entre los que se incluyen Estados Unidos, Canadá, la mayoría de Europa –Rusia, Armenia y Georgia inclusive– y algunos países de Asia central como Kazajistán y Kirguizistán [6].

<sup>8</sup> EMEP es la sigla para European Monitoring Evaluation Programme y CORINAIR es un proyecto europeo coordinado por la EEA, sigla para Core Inventory Air

<sup>9</sup> Fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y rubricada ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de 150 países más la Comunidad Europea. La convención entró en vigor en marzo de 1994 [52]

anterior, por lo que la selección del Tier dependerá únicamente de la categoría y calidad de la data disponible en el país que se esté realizando el inventario, radicando principalmente en el nivel de agregación asumido para la aeronave [21].

El Nivel 1, o metodología muy simple, realiza estimaciones sin tener en cuenta los tipos de aeronaves realmente utilizados. En el Nivel 2, o metodología sencilla, se supone que se dispone de información sobre los tipos de aeronaves que operan en el país. Por último, la metodología detallada, Nivel 3, toma en cuenta las emisiones crucero para diferentes distancias de vuelo, agregadas a las calculadas en el ciclo LTO [21].

Cada uno de estos niveles tiene su base en el uso de factores de emisión. Los factores de emisión han sido durante mucho tiempo la herramienta fundamental para desarrollar inventarios de emisiones nacionales, regionales, estatales y locales para las decisiones de gestión de la calidad del aire y para el desarrollo de estrategias de control de emisiones [22]. Se hablará en detalle sobre los factores en el punto 2.1.

En la Tabla 3 se resume el tipo de actividad y el factor de emisión en cada uno de los enfoques metodológicos. Como se puede observar, los tres métodos se basan en los datos despegue/aterrizaje, incrementándose la complejidad de la información requerida en relación a las aeronaves de la flota del país que realiza el inventario.

**Tabla 3: Bases para cada nivel metodológico [21]**

| Metodología    | Detalle           | LTO                                                                                                                                                 | CCD                                                                            |
|----------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nivel 1</b> | Actividad         | LTO con tiempo en modo (OACI)                                                                                                                       | Residual del combustible                                                       |
|                | Factor de emisión | Aviones genéricos                                                                                                                                   | Aviones genéricos                                                              |
| <b>Nivel 2</b> | Actividad         | LTO según tipo de aeronave (aviones genéricos) con tiempo en modo (OACI)                                                                            | Residual del combustible                                                       |
|                | Factor de emisión | Según tipo de aeronave                                                                                                                              | Avión genérico                                                                 |
| <b>Nivel 3</b> | Actividad         | LTO según tipo de aeronaves (aviones genéricos) (opcional el tipo de motor) con tiempo en modo, si está disponible el real, de lo contrario la OACI | Distancias voladas, estimación independiente del uso de combustible en crucero |
|                | Factor de emisión | Según tipo de aeronave (aviones genéricos) (opcional el tipo de motor)                                                                              | Según el tipo de aeronaves (aviones genéricos) y distancias recorrida          |

### 1.2.1 Tier 1

El enfoque de Nivel 1 es una metodología básica, basada en una cantidad agregada de datos de consumo de combustible para la aviación (LTO y crucero) multiplicada por factores de emisión

promedio [9]. Este método debe utilizarse para estimar las emisiones de las aeronaves que utilizan gasolina de aviación y también para las actividades de aviación jet cuando no se dispone de datos sobre el uso operacional de la aeronave. Esto es, ya que, por lo general, las emisiones globales para los vuelos por motores pistón son muy pequeñas y la estadística disponible es deficiente, por lo tanto, será apropiado utilizar este enfoque en estas condiciones [23].

Además, teniendo en cuenta la problemática anterior, para estimar las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y metales pesados, la metodología de nivel 1 es suficiente, ya que las emisiones de estos contaminantes dependen únicamente del combustible y no de la tecnología [23].

### **1.2.2 Tier 2**

El método de Nivel 2 solo es aplicable para el uso de combustible en motores de aviones a reacción y algunas con motor tipo pistón. Para utilizar el método de nivel 2, el número de operaciones LTO debe ser conocido tanto para la aviación nacional como internacional por tipo de aeronave. En el método se hace una distinción entre las emisiones generadas durante las fases LTO y crucero del vuelo [23], siendo estas últimas calculadas en base al residuo entre las emisiones por fase LTO y las emisiones originadas por todo el combustible vendido en el periodo de tiempo evaluado.

En relación a las emisiones, el CO<sub>2</sub> es obtenido a partir del combustible quemado en la aeronave durante las fases del LTO y CCD, mientras que otros contaminantes se obtienen en base a factores de emisión (FE) para cada uno, tiempo de vuelo en un modo de operación y número de motores [23].

### **1.2.3 Tier 3**

El Nivel 3 se define como cualquier metodología más detallada que el Nivel 2, por lo que existen 2 subniveles: el Nivel 3A, calculando en base a los datos reales de movimiento de vuelo, es decir, para los datos de origen y destino (OD) y el Nivel 3B, basado en la información de trayectoria de vuelo completa [23].

Las estimaciones para la fase de crucero se vuelven más exactas cuando se utiliza la metodología Tier 3A o 3B. También, debido a que este enfoque utiliza los datos de movimiento de vuelo en lugar del uso de combustible, proporciona una separación más precisa entre vuelos nacionales e internacionales [23]. La metodología 3A es detallada en el capítulo 2 de este estudio.

La metodología Tier 3B se distingue de la 3A por el cálculo del consumo de combustible y las emisiones en toda la trayectoria de cada segmento de vuelo realizado por la aeronave y la información de comportamiento aerodinámico específico del motor. Para usar Tier 3B, se requieren modelos computacionales sofisticados para agregar todo el equipamiento, comportamiento y variables de trayectoria y los cálculos de todos los vuelos ocurridos en un año [23].

## 1.3 Información Nacional

### 1.3.1 Sistema Aeronáutico Nacional

El sector aéreo en Chile es regido por el Sistema Aeronáutico Nacional. Este Sistema es más bien un concepto, no es una entidad determinada por Decreto o Ley, sino que representa la estructura de operación que existe en el país.

Al observar la Figura 13, se aprecia que este sistema está conformado por 3 pilares fundamentales: Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones y finalmente el Ministerio de Defensa Nacional.

Perteneciente al Ministerio de Obras Públicas se encuentra la Dirección de Aeropuertos (DA). La política de acción de este Organismo Público es principalmente fomentar y mejorar la infraestructura de la Red Aeroportuaria Nacional. Además, administra la red de Pequeños Aeródromos, con relación a zonas aisladas o apartadas de centros urbanos, en zonas donde se requiere hacer soberanía y en aquellos Pequeños Aeródromos que se requieran de la Dirección de Aeropuertos por demanda [24].

Dependiente del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones se encuentra la Junta Aeronáutica Civil (JAC). Es principalmente la encargada de controlar la actividad aerocomercial nacional e internacional efectuada a lo largo del país.

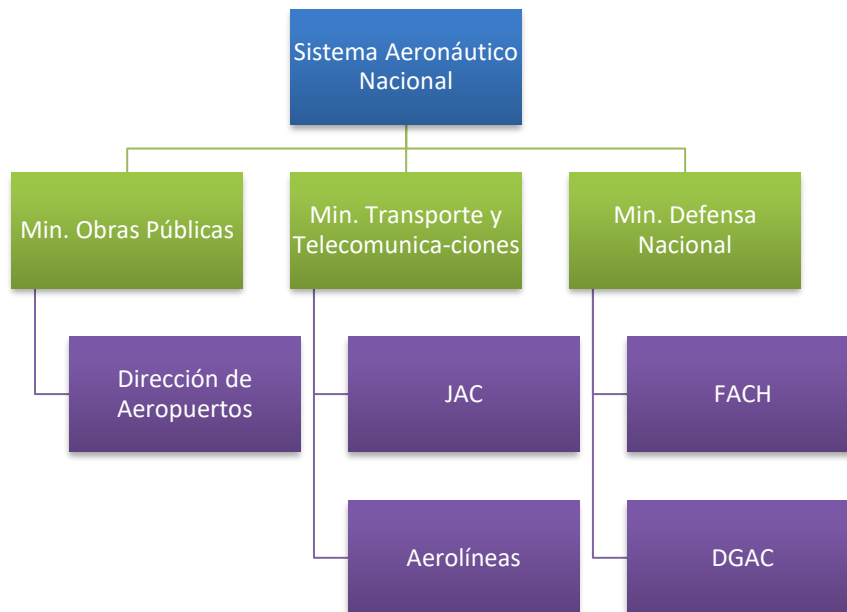


Figura 13: Diagrama del Sistema Aeronáutico Nacional y organismos involucrados

Del Ministerio de Defensa Nacional, encontramos dos grandes entidades: la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) y la Fuerza Aérea de Chile (FACH). Esta última no concierne dentro del

estudio que se llevará a cabo, ya que realiza trabajos de defensa en el espacio aéreo, además de misiones de apoyo en lugares apartados y/o en emergencias nacionales. Y como se mencionó en un comienzo, por lo general este tipo de información es clasificada, además de ser desagregada del método a utilizar.

Por su parte, la DGAC es la autoridad aeronáutica en el país. Tiene como misión normar y fiscalizar la actividad aérea que se desarrolla dentro del espacio aéreo controlado por Chile y aquella que ejecutan en el extranjero empresas aéreas nacionales [24]. Además, la DGAC debe desarrollar la infraestructura aeronáutica en el ámbito de su competencia y prestar servicios de excelencia de navegación aérea, meteorología, aeroportuarios y seguridad operacional, con el propósito de garantizar la operación del Sistema Aeronáutico en forma segura y eficiente [24].

Con relación a la Red Aeroportuaria Nacional (explicada en la siguiente sección), la DGAC administra directamente 100 aeródromos del total nacional (propiedad fiscal), brindando servicios aeroportuarios y de navegación, y además ejerce labores de fiscalización y control en la totalidad de la Red [25].

### 1.3.2 Red Aeroportuaria Nacional

En Chile existe la denominada *Red Aeroportuaria Nacional*, compuesta por 344 aeródromos, 102 helipuertos y 7 aeropuertos, distribuidos desde Arica a la Antártica, incluyendo territorios insulares [25].

De acuerdo al Código Aeronáutico<sup>10</sup>, se define aeródromo como “toda área delimitada, terrestre o acuática habilitada por la autoridad aeronáutica y destinada a la llegada, salida y maniobra de aeronaves en la superficie”, además de ser divididos en civiles y militares, siendo estos últimos destinos exclusivamente a fines de esta categoría. A su vez, los aeródromos civiles son divididos en públicos y privados. Son públicos los aeródromos abiertos al uso público de la aeronavegación; y privados, aquellos destinados al uso particular.

En el caso de los aeropuertos, en el Código Aeronáutico se definen como todos los aeródromos públicos que se encuentren habilitados para la salida y llegada de aeronaves en vuelos internacionales.

Como se muestra en la Figura 14, la Red tiene tres principales subredes: red aeroportuaria primaria, secundaria y los pequeños aeródromos. Existe también la Red de Aeródromos Militares, compuesta por 12 aeródromos de los 344 totales.

---

<sup>10</sup> Código Aeronáutico, Ley 18.916, 19 de enero de 1990, Santiago.

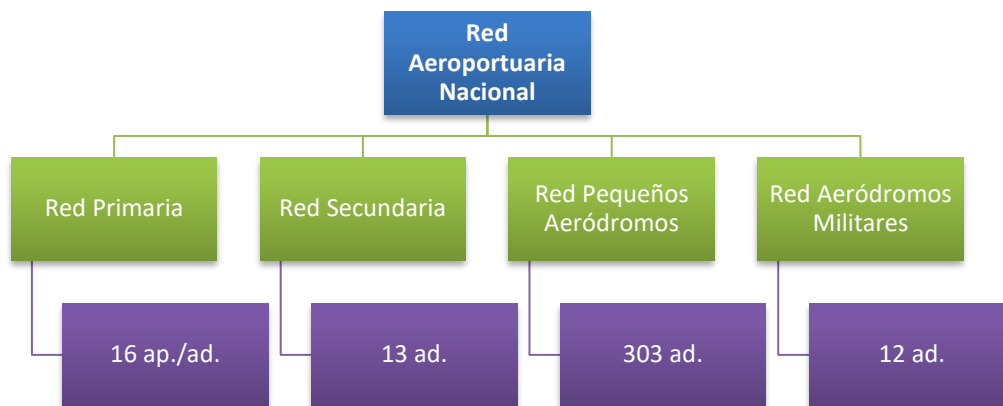


Figura 14: Diagrama de la red aeroportuaria nacional [25]

La **red primaria** está compuesta por 9 aeródromos y 7 aeropuertos, los más importantes del país. Estos se ubican principalmente en las capitales regionales o en las cercanías de ciudades que son relevantes por ciertos aspectos (por ejemplo, el económico), permitiendo así su conectividad tanto nacional como internacional (para el caso de los aeropuertos) [24].

Las funciones de esta red son [24]:

- Posibilitar las operaciones regulares y no regulares del transporte público de pasajeros y carga.
- Permitir la operación a la aviación comercial, militar, corporativa y general.
- Dado su nivel de infraestructura, permite una conexión permanente con el resto de las regiones y países.

La **red secundaria** está compuesta por 13 aeródromos que se encuentran distribuidos a lo largo del país complementando a la red primaria y cumpliendo una labor de conectividad de una región y un nexo con la red de pequeños aeródromos [24].

Las funciones de esta red son [24]:

- Posibilitar las operaciones regulares y no regulares del transporte público de pasajeros y carga, de menor escala que la Red Principal.
- Permitir operar a la aviación comercial de menor envergadura, militar, corporativa y general.

Finalmente, la **red de pequeños aeródromos** está compuesta por 303 de estos. Cumple principalmente labores de conectividad y soberanía de localidades apartadas del territorio, además de cumplir un rol social al permitir el acceso de diferentes servicios públicos hacia dichas localidades, habilitando así el contacto entre las zonas rurales y urbanas (se han considerado solo los aeródromos fiscales de uso público) [24].

Las funciones principales de la red son [24]:

- Posibilitar principalmente las operaciones no regulares del transporte público de pasajeros y carga, de pequeña escala.
- Permitir operaciones de aviación militar de menor envergadura y general.
- Aumentar la conectividad y desarrollo local.

Los aeródromos y aeropuertos del país, al igual que las aeronaves, son denominados por un código especial, de tal forma que se identifique de forma única cada aeropuerto/aeródromo del mundo. IATA y OACI proporcionan códigos distintos para los aeródromos alrededor del mundo, siendo los de esta primera organización al utilizada a nivel comercial. Sin embargo, en este estudio se considerarán los códigos de esta última organización.

### **1.3.3 Transporte aéreo en Chile, año 2015**

Como se mencionó al inicio del capítulo, la JAC es la responsable de toda la comercialización aérea dentro del territorio nacional, por lo tanto, es la entidad encargada de toda la estadística operacional ocurrida en Chile.

A través de su página web, la JAC emite públicamente las operaciones aéreas efectuadas en Chile en términos de despegues/aterrizajes por año, provenientes de las bitácoras de la DGAC. Esta estadística es desagregada por aeropuertos/aeródromos según mes, semestre y número de operaciones en vuelos nacionales, internacionales y totales. En el Anexo 3 se muestra la estadística completa.

A partir de este recuento de operaciones, se genera la Tabla 4 que resume la data operacional por cada región del país y los totales anuales.

De esta tabla se aprecia claramente que la Región Metropolitana es la que efectúa una mayor cantidad de vuelos, nacionales e internacionales, gracias a la presencia del aeropuerto internacional Arturo Merino Benítez. En vuelos nacionales, la décima y quinta, son las que registran una mayor frecuencia luego de RM.

Se puede observar también, que la única región que no está dentro de las bitácoras de operaciones es la Región de O'Higgins (VI). Además, la región de Los Ríos, Aysén y del Maule no efectúan vuelos internacionales.

Con respecto a los totales durante el año 2015, se registraron 437.889 vuelos nacionales, 62.939 internacionales, lo que da un total general de 500.828 movimientos de aeronaves.

Tabla 4: Operaciones totales efectuadas en Chile el año 2015 según bitácoras públicas de la JAC [26]

| Regiones          | Vuelos Nacionales | Vuelos Internacionales | Total          |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| XV – Arica        | 5.267             | 411                    | 5.678          |
| I – Tarapacá      | 33.348            | 1.882                  | 35.230         |
| II – Antofagasta  | 37.535            | 225                    | 37.760         |
| III – Atacama     | 8.446             | 31                     | 8.477          |
| IV – Coquimbo     | 13.672            | 58                     | 13.730         |
| V – Valparaíso    | 60.995            | 232                    | 61.227         |
| XIII – RM         | 137.187           | 59.341                 | 196.528        |
| VII – Maule       | 3.172             | 0                      | 3.172          |
| VIII – Bío Bío    | 36.258            | 83                     | 36.341         |
| IX – La Araucanía | 8.338             | 74                     | 8.412          |
| XIV – Los Ríos    | 1.908             | 0                      | 1.908          |
| X – Los Lagos     | 62.277            | 120                    | 5.944          |
| XI – Aysén        | 5.944             | 0                      | 24.024         |
| XII – Magallanes  | 23.542            | 482                    | 196.528        |
| <b>Total</b>      | <b>437.889</b>    | <b>62.939</b>          | <b>500.828</b> |

Adicionalmente, para informar el detalle del tráfico aéreo en el país, la JAC emite año a año el documento *Anuario de Transporte Aéreo*. Este es un informe que compila toda la estadística reportada obligatoriamente por las aerolíneas que realizan servicios aerocomerciales en Chile, ya sean operadoras de vuelos combinados y/o de cargueros exclusivos con servicio regular o no regular. Estas aerolíneas deben notificar sus estadísticas por medio del sistema de Control de Pasajeros Embarcados (COPAE), de la DGAC, que es un sistema para el registro de tráfico de pasajeros, carga y correo de las aerolíneas en los aeropuertos y aeródromos de Chile [27].

En este anuario, el transporte aéreo es dividido principalmente en dos grandes grupos, transporte nacional e internacional. A su vez, cada uno es organizado en dos tipos: transporte de pasajeros, carga y correo (esta última categoría es reportada de manera inclusiva). Cada uno de estos casos posee una estadística propia, descritas a continuación.

#### *Transporte de pasajeros*

En Chile durante el año 2015 se transportaron 18.153.542 pasajeros, en rutas nacionales e internacionales. La tasa de crecimiento promedio desde el año 2010 al 2015 fue de un 10,6% y se espera que para el año 2020 el transporte de pasajeros alcance los 33,5 millones de pasajeros, en una proyección optimista [10].

Se observa que los vuelos nacionales se mantuvieron relativamente constantes entre el 2014 y 2015, siendo siempre en mayor porcentaje a los vuelos internacionales. A su vez, estos vuelos tuvieron un

aumento el 2015 con respecto al año anterior. Desde el 2012 el crecimiento fue positivo, pero en menor medida comparativamente a los años anteriores [10]. Cifras se muestran en la Figura 15.

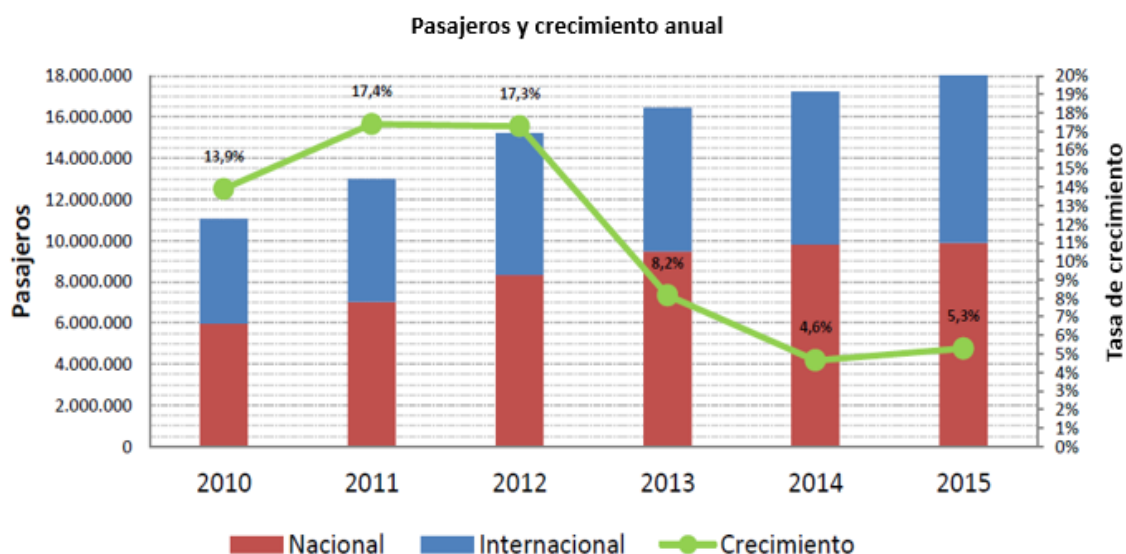


Figura 15: Cantidad de pasajeros transportados en el año 2015 y crecimiento anual [10]

Por otro lado, la aerolínea con más despegues durante el año 2015 fue Lan Express, registrando en enero su mayor cifra con 3.376 despegues, es decir, con un rendimiento promedio de 4,5 despegues por hora en ese periodo [10].

Se indica también en el compendio, la oferta y demanda por transporte aéreo, así como el factor de ocupación, conceptos explicados a continuación.

La demanda por transporte aéreo es el número de *Pasajeros Pago por kilómetro* o RPK, en rutas nacionales. Para el cálculo de este factor, se consideran exclusivamente los pasajeros pago, los kilómetros volados y las etapas de vuelo.

La oferta corresponde a los *Asientos ofrecidos por kilómetro* o ASK, igualmente en rutas nacionales. Esta es calculada a partir de las etapas de vuelo, los kilómetros recorridos por la aeronave y los asientos que la aerolínea dispuso para la venta [10].

Finalmente, el *Load Factor* o factor de ocupación, el cual es equivalente al porcentaje entre la demanda y la oferta aérea, siendo una medida de la ocupación de la aeronave [10].

Dentro del Anuario se incluyen también valores como kilómetros volados, horas voladas; tráfico según ciudad de destino, de origen, tráfico bidireccional de pasajeros entre ciudades, etc.

### Transporte de Carga y Correo

Según la definición de la JAC, el término carga corresponde a todas las mercancías de pago que se transportan en la aeronave, excluyendo el equipaje de los pasajeros. A su vez, el término correo se refiere a la correspondencia y otros objetos enviados por una administración postal para ser

entregados a otra. Por lo tanto, el transporte de carga corresponde al tráfico que no concierne a lo trasladado por el pasajero y generalmente posee un fin comercial. Es medido en toneladas kilómetro, especificado en rutas nacionales, exceso de equipaje, entre otros [10].

En carga y correo, tanto transporte por cabotaje<sup>11</sup> como internacional durante el año 2015, se transportaron 307.292.730 [kg], lo que significó un incremento de 4,0% con respecto al año 2014, equivalentes a una diferencia de 11.912.845 [kg] de carga en general [10].

En relación al transporte internacional, la dirección de carga históricamente ha sido mayor la que sale en comparación a la que ingresa a Chile. Durante el transcurso del año 2015, 34 aerolíneas realizaron transporte de carga, solo 3 empresas de las 28 que transportan pasajeros no reportaron carga. Además, 11 aerolíneas realizaron exclusivamente transporte de carga y correo [10].

En general, el tráfico de carga y correo informa sus valores según toneladas kilómetros de pasajeros, carga y correo en rutas nacionales e internacionales, exceso de equipaje, carga disponible, así como también se presenta el tráfico de carga y correo en rutas nacionales e internaciones, tráfico según destino o tráfico bidireccional entre ciudades por aerolíneas, etc.

La demanda transporte aéreo para rutas domésticas, RTK (toneladas kilómetros totales), corresponde a la suma obtenida de toneladas kilómetro pasajero, carga y exceso de equipaje. Por ende, este indicador es mucho más completo sobre la cantidad total de carga que lleva el avión [10].

De igual forma, la oferta de transporte aéreo en rutas nacionales, ATK (toneladas kilómetros disponibles), se calcula mediante la suma de las toneladas de capacidad, pasajeros y carga, disponible para el transporte por cada etapa de vuelo. También es conocido como tonelada kilómetro ofertada. Finalmente, se define el factor de ocupación de carga, RTK/ATK, en rutas nacionales [10].

## 1.4 Estudios previos y Normativa

En Chile existen inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero para la aeronáutica. Sin embargo, no hay un estudio actualizado de estos a nivel nacional y que utilice la metodología con la que se desarrolla esta investigación.

La DGAC cuantifica año a año la calidad del aire de AMB a través del monitoreo del ruido y cálculo de emisiones totales, esto quiere decir que cuantifica las emisiones por tráfico aéreo, vehículos y otras fuentes externas como grupos electrógenos y erosión de suelo.

En el caso del inventario del año 2015, las emisiones específicas del tráfico aéreo son estimadas por medio del software *Aviation Environmental Design Tool* versión 2b, Aedt 2b, desarrollado por la Federal Aviation Administration, FAA. Este software incorpora en su modelo trayectorias de vuelo, variables meteorológicas y características de las aeronaves. Además, es posible modelar pistas de vuelo, estimar las emisiones por helicópteros, segmentar las fases de vuelo, utilizar el tiempo de

---

<sup>11</sup> Nacional/doméstico

espera de las aeronaves y calcular las emisiones por unidades de potencia auxiliar y de equipos de apoyo en tierra [28].

Por otra parte, el Gobierno de Chile a través de la iniciativa gubernamental MAPS Chile<sup>12</sup>, realizó una investigación global de emisiones en el país, abarcando todos los sectores del país que se consideran como fuentes de emisiones. El objetivo general de MAPS es generar la mejor evidencia posible para la toma de decisiones de políticas públicas sobre la mitigación del cambio climático y el desarrollo de bajas emisiones de carbono. Este estudio considera varias fases, cada una con una metodología de estimación distinta a la anterior [29].

En el caso de la fase 1, en particular el subsector de transporte aéreo es estimado de manera indirecta a través de un modelo econométrico que relaciona el consumo energético del transporte aéreo nacional con el PIB nacional. Los resultados de esta fase son de manera agregada para el sector transporte, es decir, se muestran las emisiones por consumo energético del transporte de pasajeros, carga, marítimo y aéreo [30], además de ser una línea base desde el año 2006 hasta el 2030.

Para la fase 2, las emisiones del transporte aéreo también son calculadas de manera indirecta, pero a partir de una proyección econométrica de la variable PKM, relaciona con el PIB per cápita. La variable PKM, medida en kilómetros, representa la demanda media anual del transporte aéreo de una persona. Por tanto, los consumos energéticos del sector se calculan en base a esta variable y a una intensidad energética referida al kerosene de aviación. Los resultados en esta fase también se muestran de manera segregada para el sector, desde el año 2013 hasta el 2030 [29].

Otro estudio corresponde al realizado por la consultora Sistemas Sustentables para la Comisión Nacional de Medio Ambiente en el año 2009. Este estudio elaboró los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero en Chile, desagregando la información de emisiones Bunker<sup>13</sup> y emisiones nacionales para los subsectores del transporte aéreo y marítimo, desde el año 1984 al 2007. En este estudio se utiliza la metodología Tier 2, recomendando estimar las emisiones con Tier más elevado [31].

Finalmente, en el año 2017 se publicó un reporte oficial de inventario de emisiones de Chile por parte del Ministerio de Medio Ambiente, presentado ante la CMNUCC. En el inventario se analizaron todos los sectores emisores GEI a nivel nacional según las Directrices del IPCC del 2006, en una serie de tiempo desde 1990 al 2013, utilizando además un software que entrega como resultado los formatos oficiales requeridos por la CMNUCC. En relación a la metodología, se aplicó el Nivel 1 para prácticamente todas las estimaciones, a excepción del componente Transporte Terrestre en el cual se aplicó la metodología de Nivel 2 [2].

---

<sup>12</sup> MAPS es un acrónimo para *Mitigation Action Plans and Scenarios*, teniendo su origen en Sudáfrica y actualmente se desarrollan proyectos MAPS en Brasil, Colombia, Perú y Chile.

<sup>13</sup> Concepto referido a las emisiones internacionales

#### 1.4.1 Normativa vigente

Las normas internacionales que rigen a la aviación civil son propuestas por OACI, a través de 19 anexos de técnicas normativas. OACI es una entidad que emite normas de forma referencial para la aviación, por lo tanto, cada Estado es soberano de adoptar estos anexos dentro de su sistema aeronáutico.

Ahora bien, el anexo 16 es el que precisa normativas en cuanto a emisiones. Este comprende 2 volúmenes. El volumen I es referido al ruido producido por las aeronaves y en el volumen II se definen las emisiones de las mismas [32].

El volumen II es dividido en tres secciones, la Parte I contiene solo definiciones de la aeronáutica, la Parte II incluye normas relacionadas con la purga del combustible y La Parte III contiene normas sobre la certificación de emisiones, aplicables a motores turborreactores y turbofan, en velocidades sub y supersónicas [32].

Además, OACI propone un esquema de reducción de emisiones internacionales denominado CORSIA, *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*. Este es un plan de implementación para abatir las emisiones de CO<sub>2</sub> en relación al Acuerdo de París y a la CMNUCC, solo en vuelos internacionales desde del 2020 en adelante para todos los Estados que voluntariamente quieran implementar este programa en su inicio, donde además los operadores deberán compensar sus emisiones [33].

#### Normativa en Chile

El Estado de Chile, con respecto al anexo 16, no ha adoptado dicho anexo como norma oficial. El anexo aplica a países que son manufactureros y aquí en Chile solamente son homologados los respectivos certificados para el ingreso de aeronaves y así poder operar en el país. En relación a CORSIA, Chile tampoco se ha pronunciado como miembro voluntario para implementar esta estrategia.

De acuerdo a las emisiones contaminantes sobre la calidad del aire, no existen políticas públicas para mitigación de emisiones, solo se cuenta con planes del tipo correctivo realizando mediciones de calidad del aire y proponiendo alertas o emergencias ambientales, restringiendo a cierto tipo de fuentes emisoras, como a vehículos no catalíticos o quema de biomasa. En consecuencia, para la aviación tampoco existiría una normativa con respecto a las emisiones aeroportuarias.

Por su parte, como plan de reducción de emisiones, la DGAC en su página web publica una Resolución de Calidad Ambiental (RCA) sobre un proyecto a realizar en AMB en el año 2003, para la construcción de una segunda pista de aterrizaje, el cual fue aprobado por medio de un Estudio de impacto ambiental (EIA) [34].

Asimismo, publican un RCA del año 2006 para el aeropuerto Robinson Crusoe, el cual consistió en una reparación a la pista de aterrizaje de acuerdo a normativa internacional, así como también la construcción de un refugio para pasajeros, con el sistema de agua potable, alcantarillado y

generación de energía eléctrica a partir de fuente eólica. Este proyecto fue aprobado por Declaración de Impacto Ambiental (DIA) [34].

Con respecto al monitoreo del ruido en AMB, la DGAC publica un plan de monitoreo entregando los niveles de ruido producido por las aeronaves en dicho aeropuerto [35]. Se incluye un informe anual y un Mapa físico con escalas de ruido para el año 2016.

En este informe se detalla la obtención de datos, el análisis de resultado y las conclusiones respectivas. Las mediciones fueron tomadas por una estación de monitoreo, la que registra el nivel de ruido producido cuando la aeronave pasa por esta, habiendo un total de 3 estaciones ubicadas en sectores habitacionales cercanos al aeropuerto. La modelación del ruido y la elaboración del mapa fueron construidas con el software INM (*Integrated Noise Model*), el cual permite cuantificar el grado de contaminación acústica producida por el tipo de operación de la aeronave, según trayectoria. Para el análisis de resultados se utilizó el descriptor acústico correspondiente al nivel promedio anual día-noche, el que es definido en la Regulación de Aviación Federal (FAR 150<sup>14</sup>) de los Estados Unidos [35].

---

<sup>14</sup> FAR 150 permite normar el uso de suelo en cercanías a los Aeropuertos

## Capítulo 2: Metodología e Información disponible

En este capítulo se describirá en detalle tanto la metodología a utilizar como la información nacional disponible para lograr los cálculos requeridos en la confección del inventario nacional de contaminantes emitidos por la industria aérea a nivel aeropuerto.

Con respecto a la metodología para realizar el inventario, como ya se ha mencionado, corresponde a la presentada en la *Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/EEA 2016* (antes llamada guía de inventario de emisiones EMEP CORINAIR). Esta guía tiene por objetivo principal estimar las emisiones antropogénicas y naturales, siendo una orientación técnica para preparar inventarios nacionales. La guía conjunta apoya la notificación de datos de emisiones en virtud del Convenio de la CEPE sobre contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia (CLRTAP) y la Directiva de límites máximos nacionales de emisiones de la UE [36].

Esta guía es dividida en sus directrices generales y en los sectores estudiados para la generación de inventarios. Los sectores fuente, al igual que las directrices del IPCC, son en relación a la energía, procesos industriales, agricultura, entre otros, cada uno con un código de denominación. A su vez, el sector energía es dividido en dos tipos de fuentes: Combustión y Emisiones fugitivas de combustibles. Por consiguiente, la aviación corresponde a la primera categoría.

En el capítulo destinado a la aviación se enuncian todos los antecedentes tecnológicos y de control sobre la aeronáutica y las emisiones contaminantes procedente de ellas. Aquí se describen los tres niveles metodológicos enunciados por el IPCC, siendo más explicativo que esas directrices.

La elección entre niveles de estimación se escoge a partir de la cantidad de información que puede ser manejada para realizar un inventario, tal como se muestra en el árbol de decisión de la Figura 16. Según esta figura, es posible utilizar el Nivel 3, puesto que la base de datos de movimientos disponible para las estimaciones posee la cantidad de información requerida en ese enfoque.

El Nivel o Tier 3 es una metodología de enfoque *bottom-up*<sup>15</sup>, puesto que se basa en la data real de movimiento de vuelo para posteriormente encontrar las emisiones contaminantes. Debido a que la metodología está asentada en el vuelo, se desprenden dos tipos de Nivel 3: Tier 3A, basado en información de origen y destino, y Tier 3B, basado en la trayectoria de vuelo completa [9].

En el subnivel 3A, los inventarios se modelan utilizando el consumo de combustible promedio, los datos de emisiones para la fase LTO y varias longitudes de fase crucero, en una variedad de categorías de aeronaves representativas. Los resultados esperados corresponden a la emisión contaminante ocurrida durante el ciclo LTO y CCD por separado [9].

La metodología de Nivel 3B se distingue del 3A por el cálculo de emisiones a lo largo de la trayectoria de vuelo completa y utilizando información específica sobre el rendimiento aerodinámico de la aeronave y del motor, requiriendo sofisticados softwares o modelos para procesar toda la

---

<sup>15</sup> Enfoque *bottom-up*, o de abajo hacia arriba, utiliza datos específicos del punto de emisión [54]

información necesaria en términos de la aeronave, motor, aeropuerto, región, totales mundiales, así como también los *inputs* de trayectoria: longitud, latitud, altitud y tiempo [9].

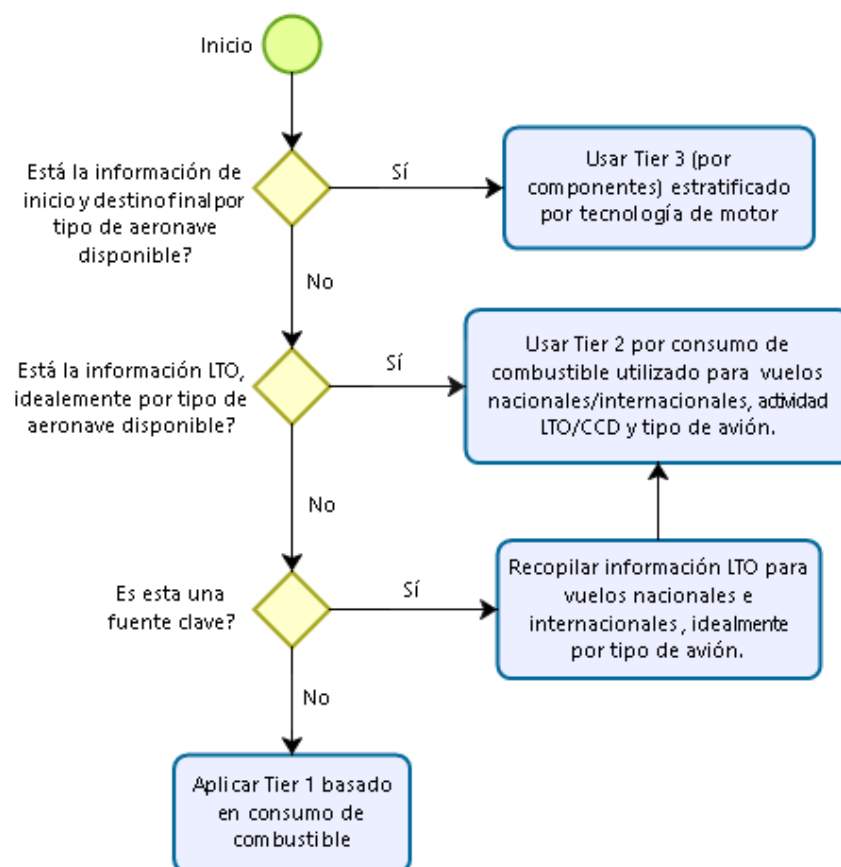


Figura 16: Árbol de decisiones para determinar el método apropiado a aplicar en el inventario [9]

Es importante destacar que las emisiones en ciclo LTO para este nivel son calculadas a partir de factores de emisión provenientes de la metodología Tier 2, posteriormente, estos resultados se asumen como estándar para cada tipo de aeronave y se adicionan a los resultados obtenidos luego en fase CCD. La diferencia metodológica con el nivel 2 corresponde justamente a la forma en la que es calculada la fase CCD, siendo una aproximación en función del consumo de combustible vendido en la nación en cuestión y no a estimaciones propias del ciclo.

En cuanto a la confección del inventario como tal, existen tres grandes consideraciones en relación a las metodologías de estimación propuestos por la metodología de la EEA:

- Deben ser desagregados los vuelos nacionales de los internacionales, así como también en LTO Y CCD.
- El combustible utilizado en el aeropuerto para transporte en suelo y/o combustión estacionaria debe ser excluido y reportado bajo otra nomenclatura de fuente, al igual que las emisiones por encendido de motor y por Unidades Auxiliares de Potencia (APU).

- La aviación militar es desagregada de las actividades nacionales y debe reportarse según otra nomenclatura de fuente.

## 2.1 Factores de emisión

La EPA define a un factor de emisión (FE) como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la liberación de este [22]. Estos factores generalmente se expresan como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad que emite este contaminante, teniendo como objetivo general facilitar la estimación de las emisiones de diversas fuentes de contaminación del aire [22].

En este estudio, los FE corresponden a la masa de un contaminante determinado, emitido por un motor durante un segundo. Es decir, son tasas de emisión propias del motor en cuestión para un contaminante específico.

Los FE utilizados en la confección del inventario nacional son valores predeterminados presentados en la guía de la EEA, solo para el ciclo LTO, originales del Banco de Datos de Emisiones de motores de la OACI. En cambio, en ciclo CCD no existen factores de emisión por la dificultad de realizar mediciones en trayectoria, por lo que se deben realizar simulaciones.

Los valores que presenta la guía europea son procesados a través del software AEM<sup>16</sup> (*Advance Emission Model*), desarrollado y actualizado periódicamente por EUROCONTROL. Existen dos fuentes de información en el software: el modelo BADA (*Base of Aircraft Data*), que entrega estimaciones para consumo de combustible; y el método “Boeing 2”<sup>17</sup> entrega estimaciones para los contaminantes NO<sub>x</sub>, CO y HC. La Tabla 5 presenta una visión simplificada de las diferentes fuentes de información utilizadas para estimar las emisiones contaminantes en los dos ciclos de vuelo.

Tabla 5: Combustible quemado y contaminantes estimados mediante AEM [37]

|                                                | Combustible                                       | NO <sub>x</sub> , CO, HC | CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, SO <sub>x</sub> | VOC, TOG                        |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Ciclo LTO</b> (debajo de los 3000 [ft])     | Banco de Datos de Emisiones de motores de la OACI |                          | Proporcional al consumo de combustible              | Proporcional a la emisión de HC |
| <b>Ciclo CCD</b> (por encima de los 3000 [ft]) | BADA                                              | Boeing 2                 |                                                     |                                 |

<sup>16</sup> Este modelo se ha desarrollado en conjunto con organismos encargados del medioambiente, como la OACI y la EPA, para garantizar que se respalden estándares y protocolos armonizados de evaluación europea y mundial [51]. Por esta misma razón es que los valores originales del banco de datos de motores de la OACI son presentados en la guía de inventarios de la EEA.

<sup>17</sup> Método estimativo para el cálculo de las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO y HC en ciclo CCD. La versión 2 utiliza una fórmula para un factor de corrección de la humedad.

Como se observa en esta tabla, la emisión de algunos contaminantes es estimado a partir del consumo de combustible y desde la emisión de HC, siendo ambas estimaciones independientes al ciclo de vuelo en la que se encuentra la aeronave.

La emisión del dióxido de carbono, vapor de agua y de óxidos de azufre queda determinada mediante el producto del combustible total utilizado y un coeficiente correlativo al contaminante. En el caso de la emisión de VOC y TOG, esta se basa en la emisión de HC de la misma manera que los contaminantes anteriormente descritos, estimación publicada por la EPA. Todos estos gases calculados son presentados a continuación, junto a su fórmula y coeficientes, en la Tabla 6.

**Tabla 6: Coeficientes para cálculo de emisiones proporcionales [37]**

| Contaminante                                      | Coeficiente                            |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| CO <sub>2</sub>                                   | 3,149 [kg/kg fuel]                     |
| H <sub>2</sub> O                                  | 1,23 [kg/kg fuel]                      |
| SO <sub>2</sub>                                   | 0,00084 [kg/kg fuel]                   |
| <b>VOC = HC x 1,0947 VOC / FC<sup>18</sup> HC</b> |                                        |
| Acetaldehído                                      | VOC x 0,0519 acetaldehído / FC VOC     |
| Acroleína                                         | VOC x 0,0253 acroleína / FC VOC        |
| POM (16-PAH)                                      | VOC x 1,166E-4 16-PAH / FC VOC         |
| POM (7-PAH)                                       | VOC x 1,049E-6 7-PAH / FC VOC          |
| Estireno                                          | VOC x 0,0044 estireno / FC VOC         |
| <b>TOG = VOC x 1,1167 TOG / FC VOC</b>            |                                        |
| 1,3-butadieno                                     | TOG x 0,0180 fracción de 1,3-butadieno |
| Benceno                                           | TOG x 0,0194 fracción de Benceno       |
| Etilbenceno                                       | TOG x 0,0017 fracción de Etilbenceno   |
| Formaldehído                                      | TOG x 0,1501 fracción de Formaldehído  |
| Propanal                                          | TOG x 0,0095 fracción de Propanal      |
| Tolueno                                           | TOG x 0,0052 fracción de Tolueno       |
| Xileno                                            | TOG x 0,0048 fracción de Xileno        |

#### **Anexos EEA/EMEP**

Como parte de la guía europea se encuentra una base de datos de FE para todos los sectores contaminantes descritos. En el caso de la aeronáutica, se presentan datos para Tier 1 y Tier 2, sin embargo, los valores en este último método se muestran como un total másico de contaminante emitido durante el ciclo completo, sin distinción de fases de vuelo, por lo que no es posible calcular

<sup>18</sup> FC corresponde a factor de corrección

los LTOs<sup>19</sup> nacionales con esa información, considerando además que la lista de aeronaves disponibles en esa base de datos de factores de emisión es bastante reducida en comparación a lista nacional.

Por otro lado, la guía específicamente para el sector aeronáutico posee dos anexos en Excel, ambos corresponden a herramientas de cálculo para obtener emisiones durante un vuelo en LTO y en CCD. En el caso de LTO, dentro de esta herramienta se incluye una planilla con factores de emisión para un motor específico según código OACI (sin aeronave), en los distintos ajustes de potencia del ciclo. En CCD, se incluye una planilla con un set de emisiones por distancias para diferentes aeronaves. Ambas planillas son la base de cálculo para los resultados esperados en este estudio.

Cabe mencionar también, que en el caso de la planilla de FE para motores en LTO, fue completada manualmente para que los FE quedaran asociados a un tipo de aeronave con el código de motor más utilizado por esa aeronave. Esto se logró con información derivada de la herramienta de cálculo adjunta a la guía europea.

### 2.1.1 Tier 1

Al ser este método un enfoque simple para estimar las emisiones contaminantes, se utiliza para el cálculo la siguiente ecuación general [9]:

$$E_{contaminante} = TA \cdot FE \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $E_{contaminante}$  : Emisión anual del contaminante en estudio [kg/año]
- $TA$  : Tasa de Actividad o consumo de combustible anual [ton/año]
- $FE$  : Factor de emisión del contaminante [kg/ton combustible]

En cuanto a los factores de emisión de este método, se asume una tecnología promedio para la flota aeronáutica, separando las flotas por tecnología según vuelos domésticos e internacionales. En la Tabla 7 a continuación, se muestran los FE de este método solo para vuelos de cabotaje y disponibles para los contaminantes NOx, CO, NMVOC y SOx.

Tabla 7: Factores de emisión para Nivel 1 y LTO domésticos [9]

| Contaminante | Valor | Unidad      | Intervalo de confianza de 95% |             | Referencia                      |
|--------------|-------|-------------|-------------------------------|-------------|---------------------------------|
|              |       |             | IC inferior                   | IC superior |                                 |
| NOx          | 4     | kg/ton fuel | 2                             | 8           | Calculado con Tier 2            |
| CO           | 1200  | kg/ton fuel | 600                           | 2400        | Calculado con Tier 2            |
| NMVOC        | 19    | kg/ton fuel | 9,5                           | 38          | Calculado con Tier 2            |
| SOx          | 1     | kg/ton fuel | 0,5                           | 2           | Asumiendo un 0,05% de S en masa |

<sup>19</sup> El término LTOs corresponde a la emisión contaminante por ciclo unitario

Para los vuelos internacionales, se adjuntan en la Tabla 8 los FE de la guía europea presentada en el año 2013, puesto que en la más actual (2016), no se adjuntan estos valores. En esta tabla se observan claramente las tecnologías por flota promedio y fase de vuelo para los contaminantes SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NMVOC, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PM<sub>2,5</sub> y el consumo de combustible.

**Tabla 8: Factores de emisión para vuelos internacionales en Nivel 1 [38]**

| Internacional                                               | Fuel | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | CO   | NO <sub>x</sub> | NMVOC | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | PM <sub>2,5</sub> |
|-------------------------------------------------------------|------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-------|-----------------|------------------|-------------------|
| LTO (kg/LTO) – flota promedio (B767)                        | 1617 | 1,6             | 5.094           | 6,1  | 26,0            | 0,2   | 0,0             | 0,2              | 0,15              |
| LTO (kg/LTO) – flota promedio (distancias cortas, B767-400) | 825  | 0,8             | 2.600           | 11,8 | 8,3             | 0,5   | 0,1             | 0,1              | 0,07              |
| LTO (kg/LTO) – flota promedio (distancias largas, B767-400) | 3400 | 3,4             | 10.717          | 19,5 | 56,6            | 1,7   | 0,2             | 0,3              | 0,32              |
| LTO (kg/LTO) – flota antigua (DC10)                         | 2400 | 2,4             | 7.500           | 61,6 | 41,7            | 20,5  | 2,3             | 0,2              | 0,32              |
| LTO (kg/LTO) – flota antigua (distancias cortas, B767-100)  | 920  | 0,9             | 2.900           | 4,8  | 8,0             | 0,5   | 0,1             | 0,1              | 0,10              |
| LTO (kg/LTO) – flota antigua (distancias largas, B767-100)  | 3400 | 3,4             | 10.754          | 78,2 | 55,9            | 33,6  | 3,7             | 0,3              | 0,47              |
| Crucero (kg/ton) – flota promedio (B767)                    | -    | 1,0             | 3.150           | 1,1  | 12,8            | 0,5   | 0,0             | 0,1              | 0,20              |
| Crucero (kg/ton) – flota antigua (DC10)                     | -    | 1,0             | 3.150           | 1,0  | 17,6            | 0,8   | 0,0             | 0,1              | 0,20              |

### 2.1.2 Tier 2 (LTO)

La base de datos confeccionada con FE para los distintos motores y aeronaves, provenientes originalmente de OACI, entrega información sobre los siguientes contaminantes:

- CO
- HC
- NO<sub>x</sub>
- Combustible quemado
- PM volátil
- PM no volátil
- PM 2.5
- PM 0.1
- PM total

Sin embargo, como se expuso anteriormente, es posible calcular más contaminantes a partir del consumo de combustible y la emisión de HC con los valores descritos en la Tabla 6. Este procedimiento fue incluido en la planilla original de FE.

En la Tabla 9 corresponde a un extracto de la información recopilada en base a la data que proporciona la EEA. Aquí se muestran los FE para el monóxido de carbono y algunas aeronaves representativas de la flota nacional.

**Tabla 9: Factores de emisión para aeronaves ejemplo y el contaminante CO [9]**

| Aircraft Type | Engine Type | Number of Engine | Engine ID | CO - Take off [kg/s] | CO - Approach [kg/s] | CO - Idle [kg/s] | CO - Climb out [kg/s] |
|---------------|-------------|------------------|-----------|----------------------|----------------------|------------------|-----------------------|
| <b>A320</b>   | Jet         | 2                | 3CM026    | 0.001019             | 0.0007176            | 0.002434         | 0.0008415             |
| <b>A319</b>   | Jet         | 2                | 3CM027    | 0.0008019            | 0.000884             | 0.00282          | 0.000742              |
| <b>B763</b>   | Jet         | 2                | 12PW101   | 0.001489             | 0.00142              | 0.009159         | 0.0009976             |
| <b>C150</b>   | Pistón      | 1                | FOCA-5    | 0.005552             | 0.003801             | 0.0006444        | 0.005552              |
| <b>C172</b>   | Pistón      | 1                | FOCA-1    | 0.01383              | 0.004438             | 0.0006199        | 0.006839              |

Las primeras cuatro columnas describen a la aeronave en sí, siendo las tres primeras incorporadas de manera manual a la planilla. Se observa el tipo de motor, la cantidad y el código OACI (Engine ID) para el motor más utilizado por esa nave a nivel mundial. Este último dato sobre el motor se asumió válido para todas las aeronaves presentes en la bitácora de actividades, puesto que allí no se cuenta con información.

Las siguientes columnas corresponden a los factores de emisión en los distintos modos de operación en ciclo LTO. La séptima columna de la Tabla 9, o el cuarto factor de emisión, corresponde al modo de operación inactivo en tierra (*Idle*), es decir, taxi-out y taxi-in simultáneamente. La diferencia en cuanto a emisión queda determinada por el tiempo en que la operación es efectuada durante el despegue o el aterrizaje, siendo 1140 [s] para el taxi-out y 420 [s] para el taxi-in, como se muestra en la Tabla 2 del capítulo anterior.

Todos los factores de emisión utilizados durante la estimación del inventario se encuentran adjuntos a este documento, véase el Anexo 4 para tener la información completa sobre aeronaves, motores y factores de emisión en ciclo LTO, además de contener un extracto a modo de ejemplo para las estimaciones en CCD.

Los resultados para el ciclo LTO con la metodología Tier 3 se rigen por el método general de estimación de emisiones (según EPA [22]), basado en una tasa de actividad y el factor de emisión asociado a esta, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E_{contaminante} = \sum_{aeronaves} TA_{aeronaves} \cdot FE_{contaminante,aeronaves} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde [9]:

|                    |   |                                                                                             |
|--------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{contaminante}$ | : | Emisión anual del contaminante en ciclo LTO, [kg/año]                                       |
| $TA$               | : | Tasa de actividad para cada fase de vuelo y tipo de aeronave                                |
| $FE$               | : | Factor de emisión del contaminante para la fase de vuelo y tipo de aeronave correspondiente |

Estos factores de emisión son obtenidos a partir del Nivel 2, enunciados anteriormente para cada modo de operación por tipo de motor asociado a una aeronave en particular. La tasa de actividad enunciada en la Ecuación 2, corresponde al producto de la cantidad de motores que posee la aeronave y el tiempo de vuelo en cada operación del ciclo (Tabla 2), es decir, la emisión por contaminante será calculada de la siguiente manera:

$$E_{contaminante} = \sum_j \sum_i tiempo_i \cdot Ciclos LTO_j \cdot Motor_j \cdot FE_{i,j,contaminante} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde los parámetros son:

|                    |   |                                                                      |
|--------------------|---|----------------------------------------------------------------------|
| $E_{contaminante}$ | : | Emisión anual del contaminante en ciclo LTO, [kg/año]                |
| $i$                | : | Modo de operación                                                    |
| $j$                | : | Tipo de aeronave                                                     |
| $tiempo$           | : | Tiempo de vuelo en operación $i$ , [s]                               |
| $FE$               | : | Factor de emisión por motor de aeronave $j$ y operación $i$ , [kg/s] |
| $Motor$            | : | Cantidad de motores que posee la aeronave $j$ [-]                    |

Para lograr calcular la emisión total con la Ecuación 3, se extrae el número de ciclos LTO por aeronave a nivel nacional durante el año 2015, desde la base de datos de actividades aéreas, descrita con mayor detalle en los apartados siguientes.

En cuanto a los ciclos LTO, se debe recordar que estos son una estandarización o medida ideal de las operaciones realizadas en un aeropuerto, suscitando a que la cantidad de ciclos no pueda determinarse con exactitud. Al observar las prácticas reales en la bitácora de actividades el número de aterrizajes y despegues no son concordantes, impidiendo obtener un valor certero de ciclos.

Para evitar aproximaciones, la ecuación anterior fue dividida en dos partes. Se agruparon los tiempos y factores de emisión relacionados a la llegada y a la salida, mientras que, por definición, el ciclo LTO fue dividido en número de despegues y número de aterrizajes, de acuerdo a la segmentación presente en la bitácora de actividades. Esto significa que las operaciones quedan determinadas como se muestra en el punto 1.1.3. De esta manera, el cálculo de emisiones anuales queda definido por la ecuación a continuación:

$$E_{cont.} = \sum_j \sum_{d,a} (tiempo_d \cdot Ciclos_d \cdot FE_{d,j,cont.} + tiempo_a \cdot Ciclos_a \cdot FE_{a,j,cont.}) \cdot Motor_j \quad \text{Ecuación 4}$$

Los parámetros nuevos de la Ecuación 4 son los siguientes:

- $d$  : Operación de salida
- $a$  : Operación de llegada
- $Ciclos_d$  : Número de despegues anuales
- $Ciclos_a$  : Número de aterrizajes anuales

En el caso de las **actividades de sobrevuelos** que aparecen en la bitácora de actividades, estas son modeladas como emisión de salida más emisión de llegada, puesto que se realizan ambas operaciones dentro de la misma actividad. En el punto 2.2.2 se detalla esta actividad.

### 2.1.3 Tier 3 (CCD)

De acuerdo a la Tabla 5 presentada anteriormente, el ciclo CCD consta de dos modelos para la estimación de distintos contaminantes, los que son alojados en el software AEM desarrollado por EUROCONTROL, el cual es mejorado permanentemente. Un modelo, BADA, estima el consumo de combustible, mientras que Boeing 2, estima las emisiones de HC, CO y NOx. Se mantienen los coeficientes proporcionales al consumo de combustible de la Tabla 6.

Los resultados de este software corresponden a un set de contaminantes en función de diferentes distancias de vuelo en millas náuticas<sup>20</sup> y duraciones de vuelo, asociadas a alguna aeronave típica de la UE. En el Anexo 4 se encuentra un extracto a modo de ejemplo para una aeronave con los datos entregados por la EEA en modo CCD.

En cuanto a la emisión en función del nivel de actividad, el procedimiento de cálculo para un movimiento consiste en una interpolación lineal (según Ecuación 5) entre los dos valores más cercanos a la distancia en cuestión. Por lo tanto, los únicos valores de entrada requeridos son el tipo de aeronave y la distancia de vuelo. Esta interpolación entrega la emisión total durante la trayectoria en el ciclo CCD para un contaminante específico, debiendo realizarse esta estimación por cada movimiento registrado en el nivel de actividad. Seguidamente, como ya se ha mencionado anteriormente, a los valores estimados en el ciclo CCD se les debe adicionar los calculados en LTO.

$$y = y_0 + (x - x_0) \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde los parámetros 0 y 1 corresponden al valor anterior y siguiente, respectivamente, más cercanos del dato que se requiere estimar.

<sup>20</sup> 1 milla náutica o [nm] es equivalente a 1.852 [m]

En esta fase de vuelo, cabe mencionar, que no existe ecuación enunciada por la metodología. El proceso de cálculo solo consta de la interpolación lineal anterior.

Con relación a los contaminantes, el total de resultados para este ciclo corresponden a todos los enunciados en la Tabla 5 y Tabla 6.

#### 2.1.4 Comportamiento en motores Jet

De acuerdo a un estudio realizado por la NASA, los FE pueden representarse típicamente como una función del ajuste de potencia del motor o como un índice de flujo de combustible [12], en concordancia con las descripciones anteriores de FE según el modelo de EUROCONTROL.

A continuación, se describen en mayor detalle los resultados del estudio de la NASA en relación al comportamiento de los FE en motores tipo jet para el monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y los óxidos de nitrógeno.

##### CO y HC

A nivel general, las emisiones de CO y HC son el resultado de una combustión incompleta, contribuyendo a la contaminación local y al smog del lugar emisor [12].

Los factores de emisión de estos contaminantes tienden a disminuir en la medida en que el ajuste de potencia aumenta, tal como se muestra en la Figura 17. Se observan varios motores con distintos empujes nominales, todos comportándose con perfiles similares. De acuerdo a esto, las emisiones de CO y HC predominan en la operación *Idle* o ralentí y en otras configuraciones de baja potencia del motor [12].

Este comportamiento de los FE en función de la potencia del motor, se explica debido a la relación de presión, la relación superficie-volumen y los efectos de escala de carga de aire [12].

##### NO<sub>x</sub>

Las emisiones de NO<sub>x</sub> son el resultado de las altas temperaturas en la cámara de combustión del motor, por lo que ocurren principalmente a altas configuraciones de potencia de este y durante el vuelo en modo crucero (CCD) [12].

El factor de emisión del NO<sub>x</sub> es más alto para aeronaves subsónicas durante la fase de despegue. Para las aeronaves supersónicas, el FE es más alto durante la fase de vuelo de crucero supersónico. Para un motor dado, el FE aumenta en función de la configuración de potencia, como se muestra en la Figura 18. De hecho, el FE del NO<sub>x</sub> se correlaciona muy bien con la temperatura de entrada de la cámara de combustión [12], además de correlacionarse bien en términos de demanda [9].

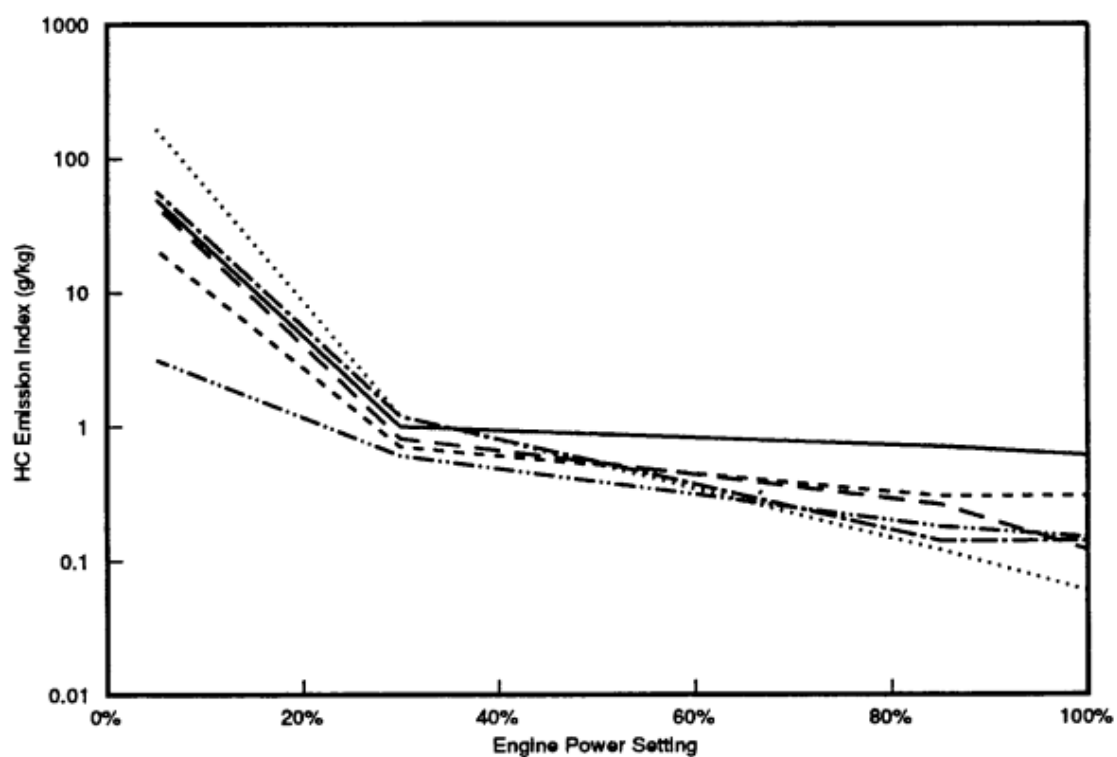
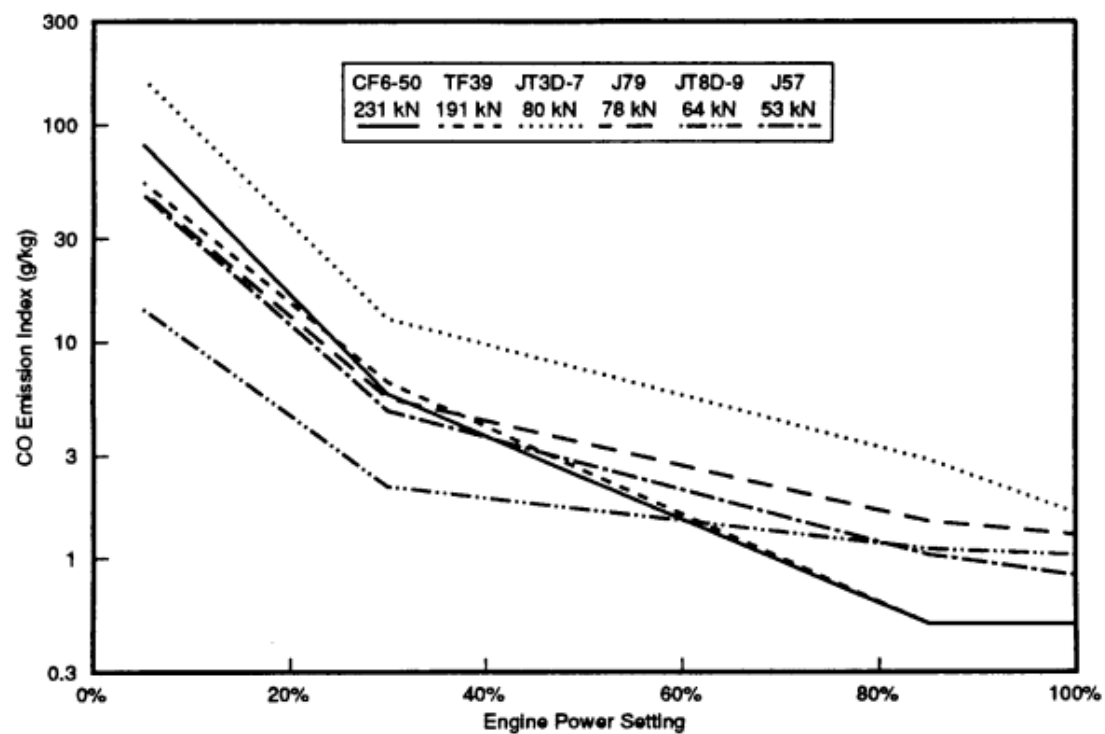


Figura 17: Factor de emisión de CO (arriba) y HC (abajo) en función de la configuración de potencia del motor para 6 tipos de aeronaves con distintas potencias nominales [12]

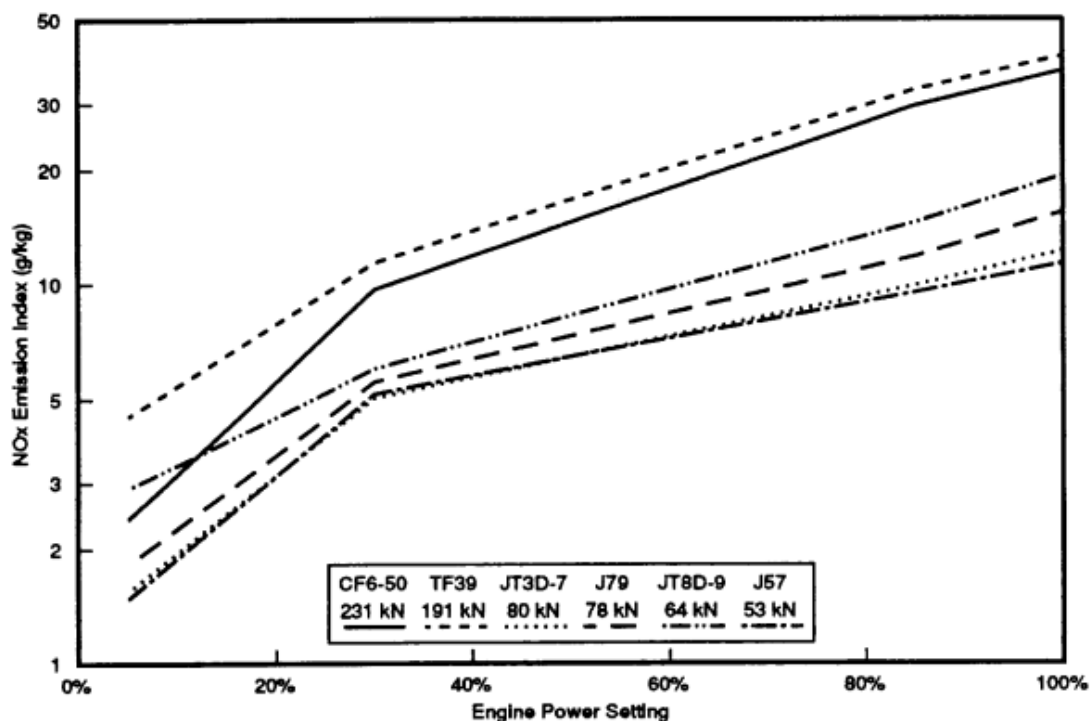


Figura 18: Factor de emisión de NOx, en función de la configuración de potencia del motor para 6 tipos de aeronaves con distintas potencias nominales [12]

## 2.2 Bitácora de Actividades Aéreas

El inventario de emisiones será construido a partir de una base de datos procedente de las bitácoras de la DGAC durante el año 2015.

Aquí se detallan los movimientos de cada tipo de aeronave para un determinado aeropuerto, catalogado según código OACI. Esta base de datos es una gran planilla que por columnas contiene la información mostrada en la Tabla 10 a continuación.

Tabla 10: Información registrada en bitácora de actividades utilizada para el inventario

| Información registrada                                         |                                      |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Aeropuerto Informante                                          | Matrícula de la aeronave             |
| Tipo de operación (aterrizaje, despegue o sobrevuelo)          | Tipo de aeronave                     |
| Fecha de operación                                             | Aeropuerto de procedencia            |
| Empresa (aerolínea) que efectúa la operación                   | Hora de la operación en horario UTC  |
| Actividad realizada por la aeronave al momento de la operación | Hora local de la operación           |
| Número de vuelo                                                | Fecha de la operación en horario UTC |
| Vuelo Nacional/Internacional                                   | Modelo de aeronave                   |
| Vuelo Regular/No Regular                                       | Empresa manufacturera de la aeronave |

Esta base de datos abarca 44 aeropuertos/aeródromos, 335 aeronaves y contiene un total 444.721 movimientos por aeropuerto. Estas actividades corresponden al periodo desde el 31 de diciembre del 2014 hasta el 31 de diciembre del 2015.

Con toda esta información, es posible entonces obtener los resultados esperados para el inventario, puesto que la base de datos entrega el número de despegues y aterrizajes efectuados por aeronave, permitiendo aplicar directamente los FE de Tier 2. Con esto, sumado a la data del aeropuerto de origen y destino, posibilita la obtención de los LTO al año por aeronave y de la distancia de vuelo.

Complementario a esto, se pueden obtener algunas estadísticas aéreas como la cantidad de aeronaves que entra y salen del país, los destinos nacionales e internacionales más reiterativos, la frecuencia en que operan las aerolíneas, la frecuencia de vuelos mensuales, entre otras.

A continuación, se detalla la información relevante para el estudio contenida en la bitácora de actividades y el procesamiento de la misma para lograr obtener los resultados esperados.

### **2.2.1 Tipo de aeronave**

Como ya se mencionó anteriormente, la bitácora de actividades contiene 335 tipos de naves que efectuaron vuelos en Chile durante el año 2015, esto es considerando todas las actividades realizadas en ese periodo, incluyendo vuelos militares y aterrizajes frustrados. En el Anexo 3 se muestran los movimientos totales de cada aeronave, desagregados por vuelos nacionales e internacionales, ordenados de mayor a menor según la cantidad de operaciones realizadas ese año.

Distinguidamente se puede notar que las aeronaves de la empresa Airbus (filial europea) lideran las actividades aeronáuticas del país, tanto en vuelos nacionales como internacionales con los tipos A320, A319 y A321. En vuelos nacionales, además de Airbus, se destacan las empresas Cessna, con las aeronaves C172, C150 y C182; y Piper Aircraft con las aeronaves PA31 y P28A (ambas empresas estadounidenses). En vuelos internacional también participa con un gran porcentaje la empresa Boeing (estadounidense) con las aeronaves B763 y B788.

Igualmente, las aeronaves más utilizadas en el país, luego de procesar la información según metodología, son descritas en detalle en el capítulo 3.

Con respecto a la información disponible, al observar la descripción por columnas de la bitácora de actividades, no existe información acerca de qué tipo o código de motor posee la aeronave que realizó el movimiento. El código del motor podría obtenerse a partir del modelo de la nave, pero no es un dato preciso, puesto que un modelo de aeronave puede contener diferentes modelos de motor. Esto se debe a que, en el mercado internacional de motores, los grandes fabricantes venden a las aerolíneas sus aviones de cualquier tamaño, con la posibilidad de instalar motores de fabricantes distintos o con una sola opción. Por ejemplo, el A320 puede tener el motor V2500 de

IAE<sup>21</sup> o el CFM56<sup>22</sup> mientras que los modelos 737 de última generación solo se venden con el CFM56 [13].

Sin embargo, gracias al anexo de la guía metodológica, donde se especifica el código de motor más utilizado por un tipo de aeronave, fue posible construir una base de datos que adiciona el tipo de aeronave, el código del motor y sus factores de emisión por modo de operación en LTO, como se mencionó anteriormente en el inciso de Factores de Emisión. Por lo tanto, la bitácora de actividades fue vinculada con esta base de datos, segregando y caracterizando de mejor manera la información allí alojada en términos de aeronave.

### 2.2.2 Actividades aeronáuticas

La base de datos entrega información sobre la actividad o propósito que cumplió la aeronave al realizar el viaje. Esto quiere decir que los vuelos reportan si son del tipo comercial, militar, entrenamiento, etc.

Las distintas actividades y/o misiones de la nave son codificadas por la DGAC mediante una letra o número. En la Tabla 11 se muestran las actividades registradas en las bitácoras de vuelo con su descripción y código de denominación, con un total de 28 categorías. Se observan todas las letras del abecedario (excluyendo la ñ, ch y ll), además del número 1 y 2. Es preciso señalar que las actividades J, correspondientes a observaciones meteorológicas, no se encuentran registradas en la bitácora de movimientos, pero se incluye igualmente mostrando la totalidad de categorías.

A su vez, la actividad W correspondiente a sobrevuelos, es definida por la CAA como un vuelo que pasa a un observador en un ángulo de elevación (aproximadamente el ángulo entre el horizonte y la aeronave) que es mayor que un umbral acordado, y a una altitud inferior a 7,000 pies [39]. Por lo tanto, en base a la definición y en relación a la confección del inventario de emisiones, esta actividad es contemplada como un ciclo LTO completo por sí misma.

Cabe mencionar que esta denominación es particularmente relevante para el tráfico aéreo en Chile, puesto que, mediante el sistema COPAE definido anteriormente, todos los operadores nacionales e internacionales que efectúan taxis y/o trabajos aéreos en Chile deben reportar sus movimientos a la JAC con un formulario remitido de manera mensual. Este formulario se basa en el tipo de aeronave, lugar de la operación, horas voladas y tipo de actividad que realizó la aeronave con los códigos de denominación de la DGAC [40].

---

<sup>21</sup> IAE, *International Aero Engines*, compañía fabricante de motores.

<sup>22</sup> CFM International es una alianza entre General Electric y SNECMA, que producen la gama de reactores CFM56 [13] y actualmente la gama LEAP.

**Tabla 11: Actividades aéreas según código DGAC y descripción**

| <b>Código DGAC</b> | <b>Glosa de Actividad</b>                                       | <b>Código DGAC</b> | <b>Glosa de Actividad</b>                                                     |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>           | Frustrada (Aterrizaje no concretado)                            | <b>M</b>           | Propaganda aérea (Lanzamiento de panfletos, etc.)                             |
| <b>2</b>           | Policial (vuelo de Carabineros o PDI)                           | <b>N</b>           | Ambulancia aérea (traslado de enfermos o heridos)                             |
| <b>A</b>           | Prospección Pesquera (Exclusivamente)                           | <b>O</b>           | Instrucción (entrenamiento, alumno en práctica)                               |
| <b>B</b>           | Prospección Minera (cualquier mineral)                          | <b>P</b>           | Deportivas (Club aéreo, paracaidismo, competencias)                           |
| <b>C</b>           | Otras Prospecciones                                             | <b>Q</b>           | Fiscales (Organismos estales en misiones oficiales)                           |
| <b>D</b>           | Fumigaciones                                                    | <b>R</b>           | Particulares (vuelos exclusivos con fines privados)                           |
| <b>E</b>           | Tratamiento de Nubes                                            | <b>S</b>           | Militares (Vuelos estrictamente militares)                                    |
| <b>F</b>           | Extinción de incendios                                          | <b>T</b>           | Carga (Carga y/o Correo)                                                      |
| <b>G</b>           | Patrullajes No Militares (Vigilancia y búsqueda por emergencia) | <b>U</b>           | Pasajeros                                                                     |
| <b>H</b>           | Repoblación de peces y animales silvestres                      | <b>V</b>           | Vuelos demostrativos (Exhibiciones aéreas)                                    |
| <b>I</b>           | Fotos aéreas/topografías                                        | <b>W</b>           | Sobrevuelo                                                                    |
| <b>J</b>           | Observaciones Meteorológicas                                    | <b>X</b>           | Vuelo de traslado sin pasajeros, carga o correo                               |
| <b>K</b>           | Periodismo y Filmaciones (Programas de TV, Cine)                | <b>Y</b>           | Vuelos de pruebas/verificación/certificación                                  |
| <b>L</b>           | Inspecciones de Obras (Aeropuertos, caminos, etc.)              | <b>Z</b>           | Vuelos Ferry (vuelo a base para mantenimiento, sin pasajeros, carga o correo) |

### 2.2.3 Aeródromos y Aeropuertos

En la bitácora de actividades se registra un total de 44 aeródromos/aeropuertos, los cuales corresponden a los principales dentro de la red aeroportuaria nacional. Esto significa que no están incluidos todos los aeródromos existentes en el país, solo se registran los presentados en las operaciones oficiales de la JAC (ver Anexo 3).

En la Tabla 12 se muestran los aeródromos registrados en la bitácora segmentados según la región en la que se ubican. Además, los aeropuertos se encuentran designados por “Ap.”, en consecuencia, el resto corresponde a aeródromos.

De la Tabla 12 se puede observar que todas las regiones del país están presentes en el registro de movimientos, a excepción de la sexta región (Libertador Gral. Bernardo O’Higgins), a pesar de que en esta región se ubican 3 aeródromos en las ciudades de Rapel, Santa Cruz y San Fernando.

Por su parte, la región de Los Lagos es por lejos la que más aeródromos posee, con un total de 10, además de un aeropuerto. Seguidamente se encuentra la región de Magallanes y Valparaíso, cada una con 4 aeródromos y un aeropuerto. Luego se observa la región Metropolitana (RM), el Bío Bío y Aysén, cada una con 4 aeródromos, solo RM presenta un aeropuerto, el más importante del país (AMB).

**Tabla 12: Aeródromos y aeropuertos incluidos en el estudio segmentados por región**

| Región                         | Aeródromo/Aeropuerto        | Región                  | Aeródromo/Aeropuerto                |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| <b>XV - Arica y Parinacota</b> | Chacalluta (Ap.)            | <b>IX - Araucanía</b>   | La Araucanía                        |
| <b>I - Tarapacá</b>            | Diego Aracena (Ap.)         |                         | Pucón                               |
| <b>II - Antofagasta</b>        | Cerro Moreno (Ap.)          | <b>XIV - Los Ríos</b>   | Pichoy                              |
|                                | El Loa                      | <b>X - Los Lagos</b>    | Alto Palena                         |
| <b>III - Atacama</b>           | Desierto de Atacama         |                         | Balmaceda                           |
|                                | Ricardo García Posada       |                         | Cañal Bajo– Carlos Hott S.          |
|                                | Vallenar                    |                         | El Tepual (Ap.)                     |
| <b>IV - Coquimbo</b>           | La Florida                  |                         | Futaleufú                           |
| <b>V - Valparaíso</b>          | Mataveri (Ap.)              |                         | Marcel Marchant                     |
|                                | Robinson Crusoe             |                         | Mocopulli                           |
|                                | Rodelillo                   |                         | Nuevo Chaitén                       |
|                                | Santo Domingo               |                         | Quellón                             |
|                                | Viña del Mar                |                         | Teniente Vidal                      |
| <b>XIII - Metropolitana</b>    | Arturo Merino Benítez (Ap.) | <b>XI - Aysén</b>       | Cabo 1° Juan Román                  |
|                                | Curacaví                    |                         | Chile Chico                         |
|                                | Eulogio Sánchez             |                         | Cochrane                            |
|                                | Municipal de Vitacura       |                         | Melinka                             |
| <b>VII - Maule</b>             | General Freire              | <b>XII - Magallanes</b> | Capitán Fuentes Martínez            |
| <b>VIII - Bío Bío</b>          | Carriel Sur                 |                         | Guardiamarina Zañartu               |
|                                | Gral. Bernardo O'Higgins    |                         | Pdte. Carlos Ibáñez del Campo (Ap.) |
|                                | María Dolores               |                         | Tte. Julio Gallardo                 |
|                                | Santa Bárbara Ruta 7        |                         | Tte. Rodolfo Marsh M.               |

#### 2.2.4 Procesamiento de la data disponible

La base fundamental para lograr los objetivos fue la bitácora de actividades proveniente de la DGAC, además de la base de datos proveniente de la EEA. Sin embargo, es necesario procesar previamente la información de la bitácora de actividades para lograr los resultados esperados y que además sean coherentes con la metodología y posteriormente unir ambas datas.

En relación a la bitácora de actividades, esta originalmente contiene la información básica necesaria para generar el inventario nacional de emisiones. Allí se precisa la hora y fecha en la que fue

realizada una operación de acuerdo a un aeropuerto informante. Sin embargo, no existe el dato de la duración real de vuelo. Esa información posibilitaba la obtención directa de las emisiones en el ciclo CCD, puesto que la base de datos proveniente de la EEA contenía distintas duraciones de vuelo en horas, equivalentes a cierta distancia en millas náuticas.

En consecuencia, fue necesario desarrollar un programa que fuera capaz de determinar la distancia entre el aeropuerto de origen y el de destino, y posteriormente calcular la emisión interpolando con los FE a partir de la distancia calculada anteriormente y la distancia predeterminada más próxima. Este programa se configura en base a las coordenadas geográficas de cada aeropuerto origen/destino, entregando la distancia lineal entre ambos.

Por otro lado, en relación a la metodología, no todas las aeronaves presentes en la bitácora están incluidas en la base de datos confeccionada en base a los FE de la EEA. En el caso de las actividades LTO, las aeronaves que sí pueden ser calculadas corresponden a 241, representando casi un 72% de la flota registrada, implicando por supuesto, que el 28% restante no podrá ser calculado (94 naves). En el Anexo 3 se muestran el listado de todas las aeronaves que fueron incluidas y eliminadas del estudio.

Ahora bien, de las 241 aeronaves disponibles para calcular, 162 no incluían información según metodología. Para lograr que los resultados fueran realistas, evitando un filtro menor, se buscó el tipo y número motor (jet o pistón) de estas naves por medio del DOC 8643 de la OACI y en registros oficiales de la DGAC. Al obtener estos datos, a las aeronaves restantes se les designan posteriormente los FE de una aeronave representativa de los dos grandes grupos de motores existentes. Para las aeronaves monomotor a pistón se escoge el avión C172, para las naves bimotor se designa la C402 y finalmente para las naves con motor jet se asume la nave A320. Todas estas típicas aeronaves fueron escogidas en base a la frecuencia de movimientos ocurridos durante el año 2015 a lo largo del país (ver Anexo 3). Con esta designación entonces, se logra completar una flota de 241 aeronaves disponibles.

El resto de aeronaves, 86 tipos, representando el 25% de la flota nacional, corresponden a naves y helicóptero con motor turbohélice y helicópteros tipo pistón. En el caso de los motores turbohélice, estas aeronaves no se encuentran disponibles para emisiones aeroportuarias según la metodología de la EEA, por tanto, no pueden ser calculadas en ciclo LTO. Por su parte, los helicópteros no pueden ser modelados según ciclo LTO, ya que el movimiento de vuelo de estos es completamente diferente y deben ser reportados bajo una categoría diferentes de las aeronaves.

Además, la metodología utilizada requiere la desagregación de vuelos militares, por lo que las actividades con código S fueron eliminadas del registro, al igual que las actividades con aterrizajes frustrados (código 1), equivalente a 5.154 operaciones, siendo menor al 1% del total de movimientos en el año.

Por lo tanto, de acuerdo con las dos consideraciones descritas anteriormente, en términos de operaciones, el filtro de datos generó un total de 389.572 operaciones, equivalente al 88% del total original.

En el caso de las operaciones en ciclo CCD, el número de aeronaves disponibles para calcular emisiones es mucho más reducido que en LTO. Considerando ya el filtro descrito anteriormente, el número total de aeronaves que pueden ser calculadas son 73, lo que representa un 42% del total a calcular. En términos de movimientos, estas 73 aeronaves corresponden al 97% de los movimientos totales disponibles para calcular, equivalente a 356.760 operaciones.

Cabe mencionar que para esta fase sí se presenta información sobre ciertas aeronaves turbohélice, dejando los valores para el ciclo LTO como 0. En el Anexo 4 se incluyen las aeronaves que pueden ser calculadas durante el ciclo CCD.

## Capítulo 3: Análisis y Resultados

En esta sección, se presentan los principales resultados obtenidos con la metodología de cálculo de emisiones contaminantes asociadas al transporte aéreo en Chile durante el año 2015. Como se mencionó en el inciso de factores de emisión, la metodología considera 9 contaminantes, además de todos los proporcionales al consumo de combustible, sin embargo, por motivos de extensión se presentan los cinco más relevantes: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC y consumo de combustible. El fundamento de esto es la importancia que presentan en relación con la contribución de cada uno en la contaminación global y local, además de la proporción que cada uno representa en las emisiones totales calculadas.

La estructura de este capítulo es de cuatro secciones. La primera de ellas muestra el nivel de actividad aérea, es decir, las estadísticas propias de los vuelos nacionales ocurridos durante el 2015. Luego, se exponen los resultados obtenidos mediante la metodología de cálculo para el ciclo LTO, aplicando las consideraciones descritas anteriormente, tanto para aeronaves como para la bitácora de actividades. Seguidamente, se describe el caso particular del aeropuerto Arturo Merino Benítez, único al cual se le aplica la metodología para fase CCD, presentando además un mapa físico de emisiones de este aeropuerto, segmentado por rutas aéreas para ciertos aviones representativos de las emisiones de este aeropuerto. Finalmente, todos los resultados sobre emisiones son validados a través de diferentes métodos.

### 3.1 Nivel de actividad aérea

El nivel de actividad corresponde a todo el tráfico aéreo ocurrido en un periodo de tiempo determinado. Por tanto, aquí se presentan los resultados obtenidos en base a los movimientos aéreos efectuados a lo largo de todo Chile, registrados por aeropuerto y otras categorías en la bitácora de actividades aéreas.

#### 3.1.1 Movimientos por actividad

En primer lugar, se muestra la Figura 19 para corroborar la actividad principal que efectúa cada aeronave seleccionada para el estudio. No se incluyen todas las naves registradas, puesto que el gráfico sería ilegible, en vez de esto se determinó el segmento “Otros”, conjunto de todas las naves con una cantidad menor a 10.000 movimientos en total a lo largo del año.

Queda evidenciado entonces que las aeronaves A320, A321, A319, B763 y B788 son prácticamente exclusivas para vuelos comerciales, puesto que realizan principalmente actividades destinadas a carga y/o correo (T) y pasajeros (U).

Otra aeronave que realiza vuelos de pasajeros es la PA31, este modelo es bimotor a pistón, construido para la aviación civil por la compañía estadounidense Piper Aircraft.

Los aviones pequeños como el C150, C152, C172, C182 y P28A realizan mayoritariamente actividades de instrucción (O), deportivas (P) y con fines particulares (R). El remanente de aeronaves (Otros) se reparten las demás actividades, como prospecciones, fines medioambientales, policiales, entre otras. Sin embargo, representan un gran porcentaje de vuelos de pasajeros, esto se explica

debido a que algunas aeronaves turbojet, principalmente de la empresa Boeing y Airbus, están dentro de esta categoría por su baja frecuencia durante el año.

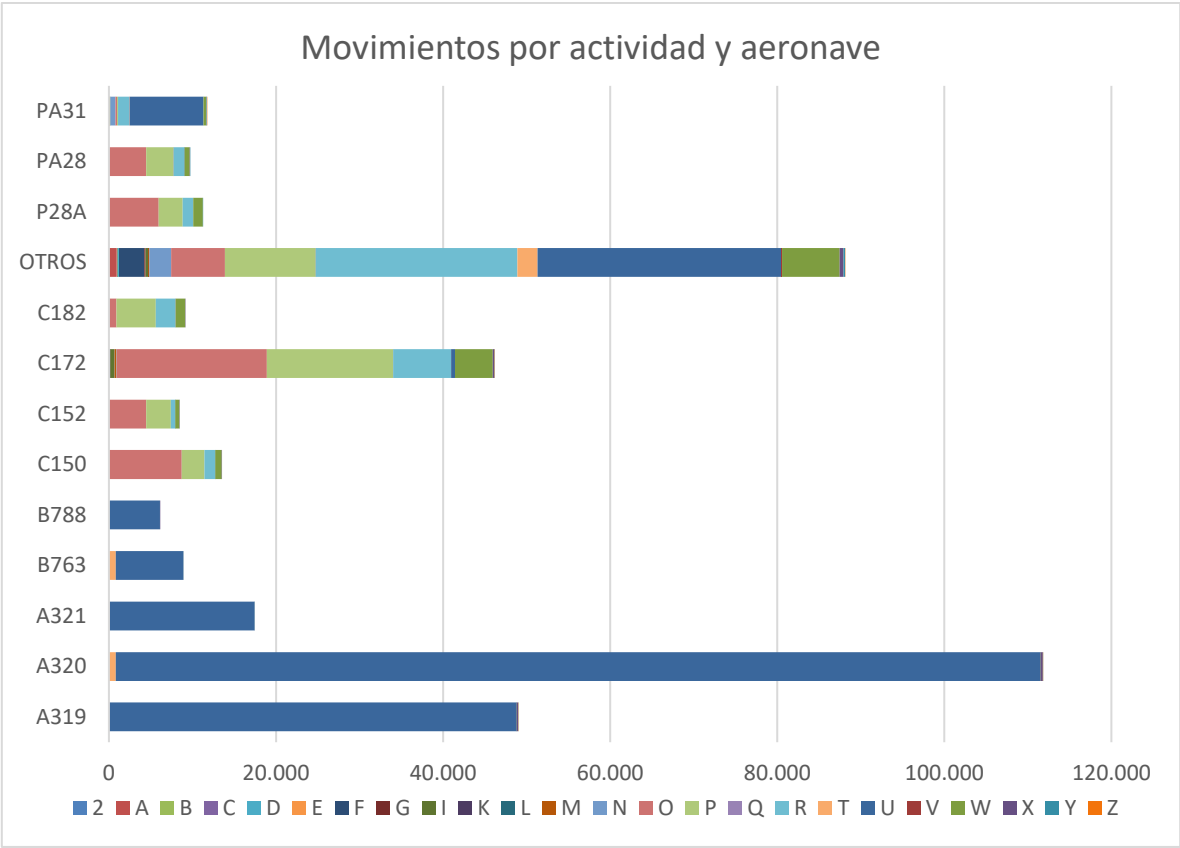


Figura 19: Movimiento de aeronaves segregadas por tipo de actividad que realizan durante la operación

En segundo lugar, se adjunta la Figura 20 mostrando por región las distintas actividades realizadas durante el año 2015. Todas las regiones presentan actividades de pasajeros, con la excepción de la región del Maule, la cual lleva a cabo actividades de sobrevuelo (W) principalmente, con fines particulares y de instrucción.

Por otro lado, la quinta región realiza mayoritariamente actividades de instrucción. Esto puede interpretarse según el aeropuerto de Viña del Mar, ya que este aeropuerto es comandado por la Fuerza Aérea de Chile. Esta actividad también es efectuada en gran medida en la primera, octava y décima región, junto con la Metropolitana.

También se observa la frecuencia en la Región Metropolitana de la actividad R, la cual corresponde exclusivamente a vuelos con fines particulares. La Región Metropolitana cuenta con 2 aeródromos en el sector oriente de la capital, Vitacura y Tobalaba, por lo tanto, se puede inferir el poder adquisitivo de la región por sobre el resto del país. La quinta, octava y décima también presentan proporciones significativas de esta actividad, siendo las regiones que tienen la mayor cantidad de aeródromos pequeños.

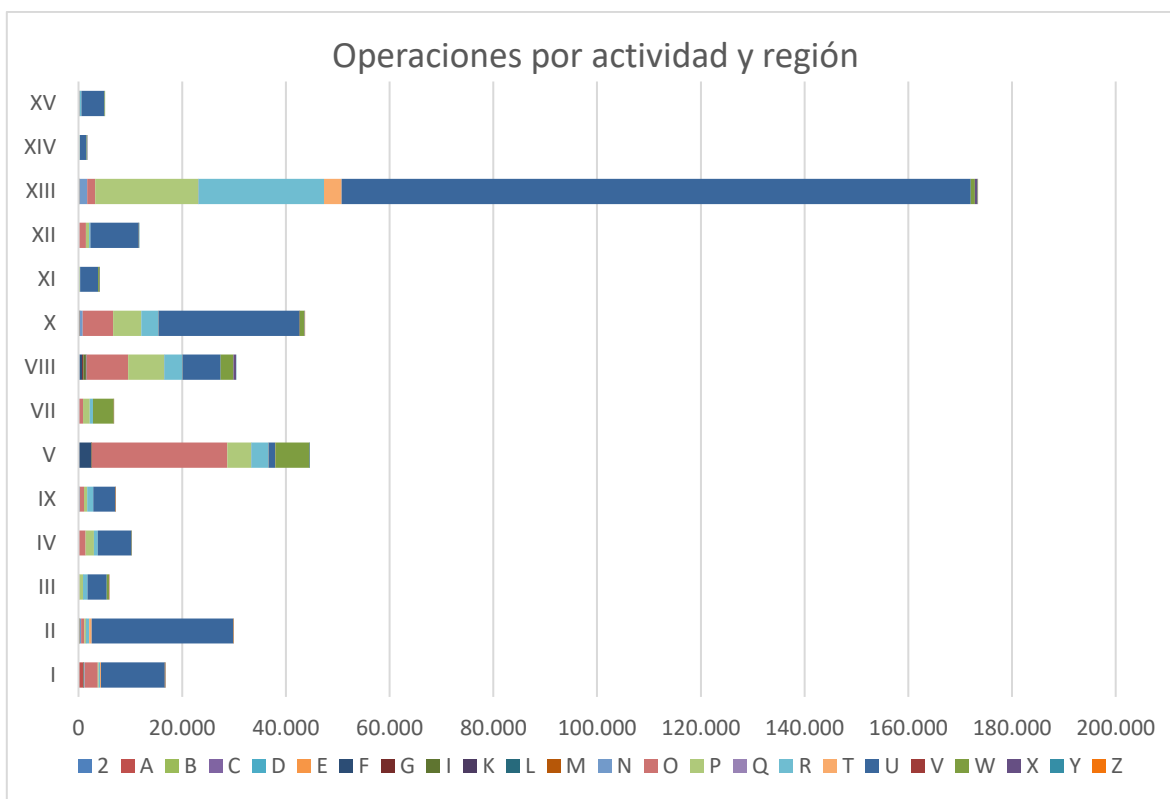


Figura 20: Operaciones distribuidas según región y actividades aéreas

### 3.1.2 Movimientos por geografía

Para mostrar los movimientos por región, se adjunta la Figura 21 con la cantidad de operaciones (aterrizajes, despegues y sobrevuelos) en las distintas regiones del país según los tipos de aeronaves seleccionadas para el estudio.

Lógicamente la región Metropolitana es la que presenta mayores movimientos de aeronaves registradas por la metodología. Alcanza un total de 173.408 movimientos, equivalente al 45% del total de operaciones nacionales. Se destaca la nave A320, la cual efectuó 56.440 operaciones solo en AMB, puesto que los demás aeródromos presentes en esta región son de carácter privado. Por su parte, el A319 también efectuó bastantes movimientos, 25.918 en total, igualmente en AMB.

La siguiente región que presenta mayores movimientos es Valparaíso, con 44.585 en total, denotando el 11,4%. Esto se debe a que en esa región se encuentra el aeropuerto internacional Mataveri y otros 4 aeródromos más. Se observan aeronaves pequeñas de motor tipo pistón, como el Cessna C172.

Seguidamente, se encuentra la región de Los Lagos con 43.630 operaciones, equivalente al 11% del total. Esta es la región que más aeródromos dispone, junto con un aeropuerto, el Tepual, esto es debido a su amplia extensión y a su geografía característica de islas, fiordos y canales, lo que suscita la necesidad de conexión vía aérea.

La región de Antofagasta representa casi el 8% de los movimientos total anuales, en donde el A320 y A319 son los principales aviones que operan allí, con 16.329 y 7.436 movimientos, respectivamente. Se observa el mismo patrón de aeronaves en la región de Tarapacá, la cual efectuó el 4% de las operaciones totales. Este tipo de patrón ocurre debido a la presencia de aeropuertos internacionales para mantener conexión con las regiones aledañas, como Perú y Bolivia, así como con el resto del país.

Luego se encuentra la región del Bío-Bío, con casi un 8% de participación en el total de operaciones y con un patrón de aeronaves pequeñas como el C172 y el C152. Esto se debe a que existen solo aeródromos en esa región, principalmente con fines particulares, e instrucción o deportivas.

Las demás regiones representan en su conjunto un 13%, registrando en su mayoría aeronaves de motor turbojet, A319, A320 y A321, a excepción de la Región del Maule que muestra mayoritariamente aeronaves a pistón.

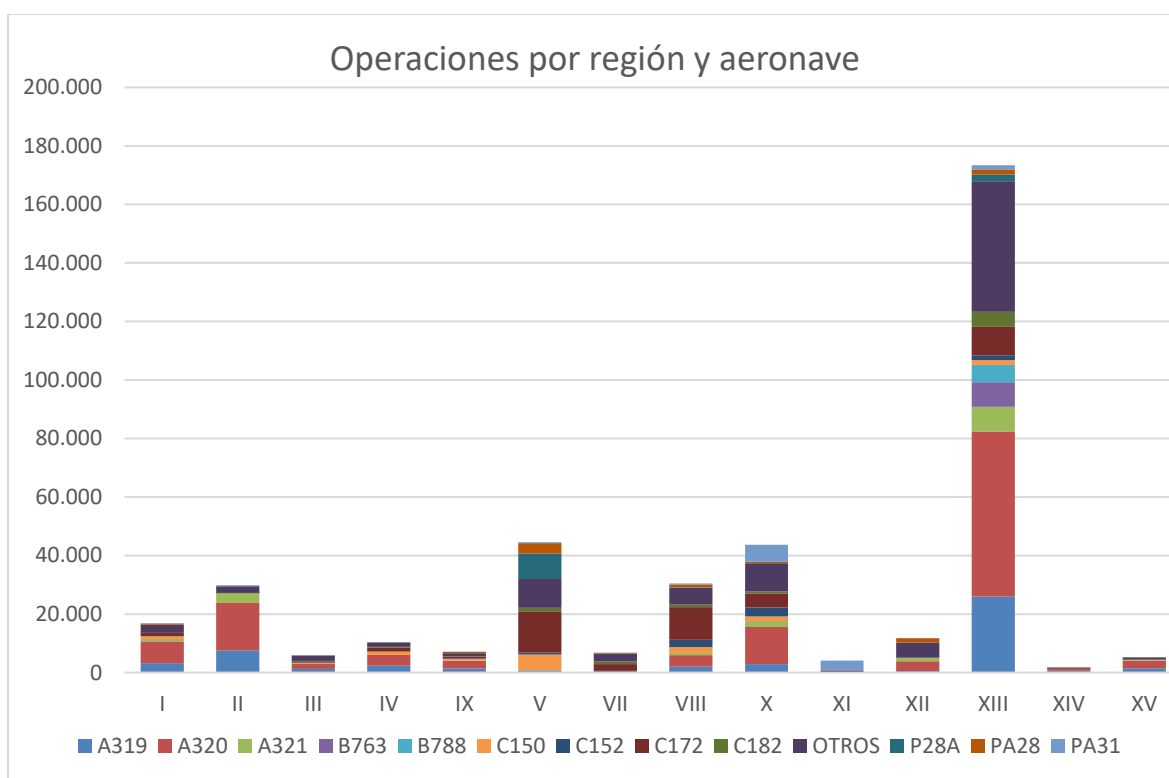


Figura 21: Total de operaciones aéreas segmentadas por Región y tipo de aeronave

Finalmente, en la Figura 22 se observan los movimientos efectuados en distintos aeródromos del país, seccionados según tipo de aeronave. Como se mencionó de acuerdo a la figura anterior, en AMB predominan los vuelos realizados con la aeronave A320, A319, A321 y B763.

El mismo patrón de aeronaves que presenta AMB se ve reflejado en los aeropuertos El Tepual, Diego Aracena, Cerro Moreno y El Loa, todos aeropuertos internacionales a excepción de este último, pero que igualmente realiza vuelos con naves turbojet debido a la frecuencia y volumen de pasajeros que

se estima en este aeródromo, puesto que es una región minera, donde la gente debe viajar principalmente por trabajo, además de que Calama es un destino de viajes turísticos muy recurrente debido a las visitas anuales a la localidad de San Pedro de Atacama. El Tepual, Diego Aracena y Cerro Moreno muestran movimientos de 14.506, 16.824 y 19.536 respectivamente, mientras que El Loa presenta 10.327 vuelos al año, valor muy competitivo en relación a los aeropuertos internacionales anteriores.

El aeródromo Eulogio Sánchez (también llamado Tobalaba), representa el 10% del total de vuelos realizados durante el año 2015, siendo el segundo después de AMB. Las aeronaves predominantes son con motores pistón, ya que este aeródromo es reconocido por sus vuelos con fines particulares.

Con similar comportamiento encontramos a los aeródromos Rodelillo (tercero en movimientos nacionales), Viña del Mar, Santo Domingo, Marcel Marchant y Gral. Bernardo O'Higgins, donde las aeronaves son solo a pistón, exceptuando Viña del Mar que sí presenta naves comerciales. Estos aeródromos representan entre el 2 y el 5% del total de movimientos anuales en el país.

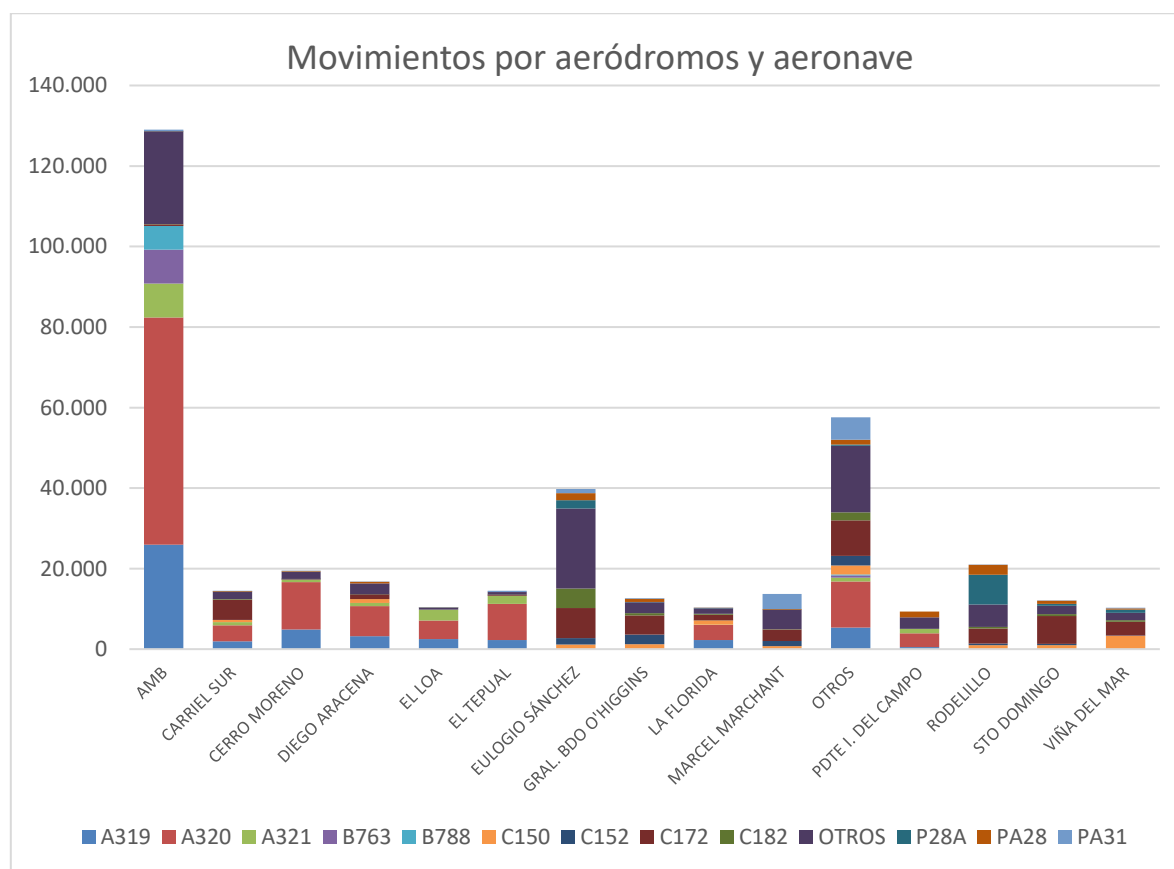


Figura 22: Cantidad de movimientos aéreos segmentados por aeródromo y tipo de aeronave

### 3.2 Emisiones a nivel nacional

En esta sección se presentan los principales resultados del inventario de emisiones contaminantes asociadas al transporte aéreo en Chile, principalmente comercial durante el año 2015, mediante el uso de la metodología internacional propuesta por el IPCC y descrito en detalle por la EEA, además de las consideraciones que esta metodología implica en términos de información disponible para ser calculada.

Por una parte, como se dijo ya anteriormente, al inicio del capítulo se presentan los resultados en ciclo LTO para todos las aeronaves y aeródromos de Chile. Luego, se incluyen los contaminantes emitidos durante la trayectoria de vuelo por sobre los 915 [m], ciclo CCD, solo para el aeropuerto Aturo Merino Benítez. Finalmente, se muestra un mapa físico de este aeropuerto, con las emisiones segmentadas por ruta para una flota representativa.

Como parte de los resultados globales, en primer lugar, se muestra el inventario de emisiones por región para los contaminantes CO, HC, NOx, PM2,5 y CO2 mediante la Tabla 13 adjunta a continuación. Estas cantidades son expresadas en toneladas por año y segregadas en vuelos nacionales (N) e internacionales (I).

**Tabla 13: Emisiones totales por región para los contaminantes más importantes dentro del inventario nacional**

| Región           | CO [ton/año]    |                 | HC [ton/año]  |               | NOx [ton/año]   |               | PM2,5 [ton/año] |             | CO2 [ton/año]  |                |
|------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|----------------|
|                  | I               | N               | I             | N             | I               | N             | I               | N           | I              | N              |
| I                | 12,98           | 56,58           | 2,32          | 8,16          | 13,45           | 49,65         | 0,09            | 0,36        | 3.368          | 11.896         |
| II               | 1,00            | 121,42          | 0,20          | 21,79         | 0,94            | 151,19        | 0,01            | 1,09        | 237            | 35.316         |
| III              | 0,08            | 26,68           | 0,01          | 3,52          | 0,06            | 19,11         | 0,00            | 0,15        | 19             | 4.732          |
| IV               | 0,18            | 38,67           | 0,04          | 5,90          | 0,13            | 30,24         | 0,00            | 0,20        | 36             | 7.538          |
| IX               | 0,18            | 28,08           | 0,01          | 4,02          | 0,04            | 22,06         | 0,00            | 0,15        | 11             | 5.343          |
| V                | 3,16            | 128,86          | 0,66          | 4,90          | 2,91            | 10,77         | 0,02            | 0,07        | 663            | 2.619          |
| VII              | 0,00            | 36,68           | 0,00          | 1,00          | 0,00            | 0,10          | 0,00            | 0,00        | 0,00           | 121            |
| VIII             | 0,21            | 93,91           | 0,03          | 7,73          | 0,11            | 37,73         | 0,00            | 0,29        | 28             | 9.102          |
| X                | 0,34            | 195,76          | 0,08          | 16,81         | 0,05            | 100,07        | 0,00            | 0,71        | 22             | 23.268         |
| XI               | 0,00            | 29,93           | 0,00          | 0,68          | 0,00            | 0,10          | 0,00            | 0,00        | 0,00           | 103            |
| XII              | 2,10            | 83,94           | 0,27          | 5,35          | 1,28            | 31,63         | 0,01            | 0,27        | 317            | 7.455          |
| XIII             | 388,35          | 426,97          | 64,26         | 57,89         | 554,88          | 362,65        | 2,94            | 2,64        | 116.010        | 84.813         |
| XIV              | 0,00            | 7,57            | 0,00          | 1,36          | 0,00            | 6,27          | 0,00            | 0,04        | 0,00           | 1.596          |
| XV               | 2,22            | 20,69           | 0,43          | 3,59          | 1,75            | 21,61         | 0,02            | 0,15        | 435            | 5.176          |
| <b>Total N/I</b> | <b>410,79</b>   | <b>1.295,75</b> | <b>68,29</b>  | <b>142,71</b> | <b>575,61</b>   | <b>843,18</b> | <b>3,10</b>     | <b>6,16</b> | <b>121.147</b> | <b>199.078</b> |
| <b>Total</b>     | <b>1.706,54</b> |                 | <b>211,00</b> |               | <b>1.418,79</b> |               | <b>9,25</b>     |             | <b>320.225</b> |                |

Es posible apreciar las toneladas de los principales contaminantes de la metodología que fueron emanadas en todas las regiones del país, tomando en cuenta los aeródromos presentes y los tipos

de aeronaves que fueron consideradas en este estudio. Notablemente el dióxido de carbono es el principal contaminante del sector aeronáutico. Los demás contaminantes, material particulado, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno corresponden a menos de 1% de las emisiones, comprobando la teoría propuesta en el capítulo 1 sobre las proporciones de los contaminantes emitidos por los motores aeronáuticos.

Como era esperado, la región Metropolitana es la principal responsable de las emisiones del país, adjudicándose el 62,7% del CO<sub>2</sub> nacional, el 64,7% de las emisiones de NO<sub>x</sub> y el 11,5% del CO nacional. Seguidamente se encuentra la región de Antofagasta con un 10% del promedio total, luego de la décima y quinta región. Se observan además las regiones que no realizan vuelos internacionales, como la región del Maule, Aysen y Ñuble.

### 3.2.1 Emisiones por tipo de aeronave

En este apartado se presentan las emisiones por tipo de aeronave de acuerdo a la flota nacional disponible. Primeramente, para segmentar de mejor manera la data se muestra la Tabla 14, donde se observa que Chile presenta principalmente aeronaves del tipo pistón con 157 tipos distintos. Sin embargo, los aviones tipo Jet, con un total de 92 tipos, son por lejos las naves que efectúan una mayor cantidad de vuelos durante el año, debido a la alta demanda de vuelos de pasajeros, carga y correo en el país.

Esta proporción en la flota nacional se explica debido a que la mayoría de los aeródromos del país realizan actividades particulares (R), deportivas (P), instructivas (O), sobrevuelo (W), etc., todas con requerimiento de este tipo de aviones, como se explicó anteriormente en el nivel de actividad.

Tabla 14: Flota nacional por tipo de motor y porcentaje de participación

| Tipo Motor | Flota Nacional | Frecuencia 2015 | Porcentaje participación |
|------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| Jet        | 91             | 222.118         | 57,02%                   |
| Pistón     | 150            | 166.954         | 42,86%                   |
| Total      | 241            | 389.572         | 100%                     |

### LTOs en flota nacional

En términos de emisiones, se presentan a continuación los resultados por LTOs o LTO unitario, es decir, la emisión de cada aeronave para un solo ciclo de aterrizaje y despegue, independiente a su frecuencia durante el periodo de tiempo a evaluar. Todos los LTOs calculados en el estudio se presentan en el Anexo 3.

En primer lugar, se muestran las emisiones de NO<sub>x</sub> y consumo de combustible. Se ordenaron todas las aeronaves de mayor a menor emisiones de NO<sub>x</sub> y mediante la Tabla 15 se muestran las 20 aeronaves más contaminantes y que mayor consumo de combustible presentan en LTO. Se observa que todas corresponden a motores tipo Jet.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el NO<sub>x</sub> está directamente relacionado a la temperatura de la llama en la combustión, lo que se corresponde con los resultados presentados, puesto que los motores tipo Jet son mucho más grandes, consumiendo mucho más combustible y generando mayor empuje, implicando una mayor temperatura de llama en la etapa de combustión que un motor pistón.

**Tabla 15: LTOs de las aeronaves más contaminantes de NO<sub>x</sub> y con mayor consumo de combustible**

| <b>Tipo Motor</b> | <b>Aeronave</b> | <b>NO<sub>x</sub><br/>[kg/LTO]</b> | <b>Fuel<br/>[kg/LTO]</b> |
|-------------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------|
| Jet               | B748            | 44,33                              | 3.495                    |
| Jet               | A346            | 64,67                              | 3.373                    |
| Jet               | B744            | 44,45                              | 3.320                    |
| Jet               | A124            | 49,93                              | 3.117                    |
| Jet               | B77L            | 69,78                              | 3.091                    |
| Jet               | B77W            | 69,78                              | 3.091                    |
| Jet               | B742            | 47,53                              | 3.075                    |
| Jet               | IL76            | 22,04                              | 2.811                    |
| Jet               | MD11            | 38,17                              | 2.623                    |
| Jet               | B773            | 52,80                              | 2.563                    |
| Jet               | IL96            | 33,15                              | 2.469                    |
| Jet               | B772            | 61,24                              | 2.406                    |
| Jet               | DC10            | 35,65                              | 2.306                    |
| Jet               | A332            | 35,32                              | 2.168                    |
| Jet               | A343            | 34,81                              | 2.020                    |
| Jet               | B764            | 24,84                              | 1.734                    |
| Jet               | B763            | 26,67                              | 1.730                    |
| Jet               | B789            | 34,52                              | 1.727                    |
| Jet               | B788            | 17,15                              | 1.592                    |
| Jet               | B722            | 12,65                              | 1.478                    |

En el caso de las emisiones de CO, estas son emitidas principalmente por motores de tecnología pistón, ya que es producido a causa de la combustión incompleta producida en el motor. Esto ocurre en menor medida en las turbinas modernas por ser más eficientes en términos de combustión, implicando que sea principalmente completa, a pesar de consumir mayor combustible. Esto se muestra en la Figura 23, la cual gráfica el porcentaje de CO emitido por consumo de combustible, evidenciando claramente que los motores pistón emiten en promedio casi 8 veces más CO que un motor jet.

Como se dijo en el capítulo anterior, la emisión de CO predomina en las operaciones donde el motor es configurado para bajas potencias, como las operaciones taxi-in y taxi-out. Esto quiere decir que

el ciclo LTO completo emite una mayor cantidad de monóxido de carbono que en operaciones CCD (ver sección 763.3.1 de AMB), independiente del motor que se esté evaluando.

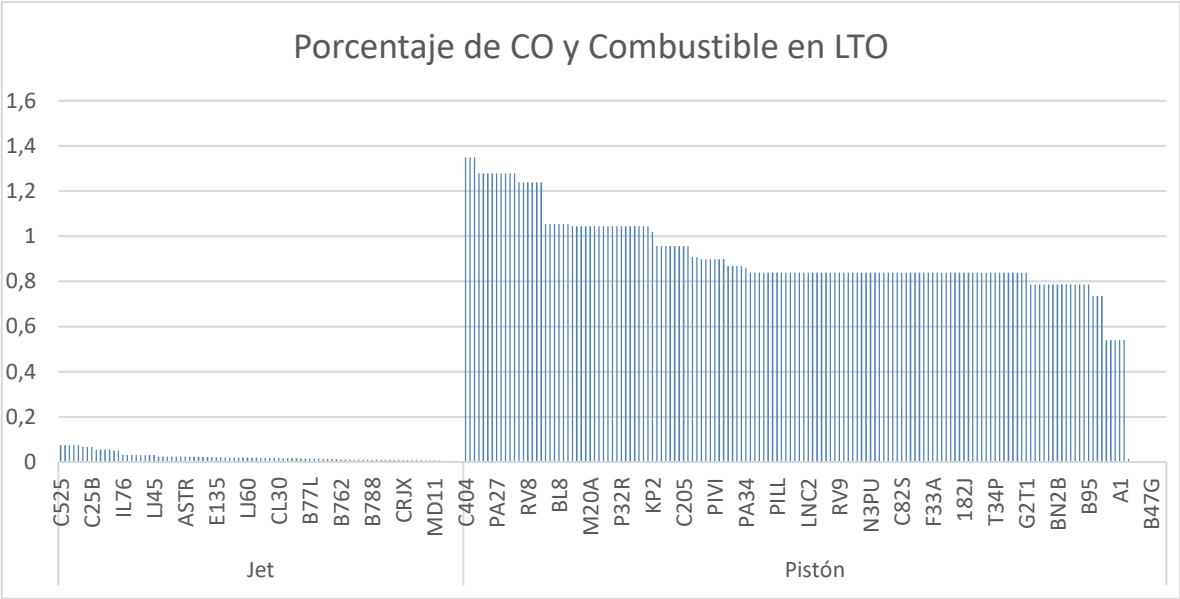


Figura 23: Porcentaje de emisión de CO con respecto al consumo de combustible en ciclo LTO unitario

### Emisiones anuales por aeronave

En este punto se presentan los resultados a nivel nacional para el año 2015, de acuerdo a toda la flota de aeronaves registradas en el país y disponibles para calcular.

Como primer resultado, se muestran las emisiones anuales de CO y NOx adjuntas en la Figura 24. En el lado izquierdo de la Figura se encuentran las naves tipo jet y al lado derecho las naves tipo pistón. Como era de esperarse, la mayoría de las emisiones corresponden a las aeronaves tipo jet, ya que presentan mayor frecuencia que las de motor alternativo, siendo el A320 y el A319 los principales protagonistas. Se puede observar la relación emisión CO/NOx de ambos tipos de aeronave mediante la Figura: las naves pistón presentan un mayor porcentaje de CO que de NOx, mientras que en las naves jet hay mayor presencia de NOx.

El patrón del dióxido de carbono es muy similar al de los óxidos de nitrógeno. Como el CO2 es un contaminante proporcional al combustible, las naves tipo jet son por lejos las emisoras principales de este contaminante en el país, puesto que presentan el mayor consumo de combustible y frecuencia de movimientos, adjudicándose el 99,3% del CO2 del país (Figura 25), mientras que los motores a pistón representan tan solo el 0,7% de las emisiones nacionales.

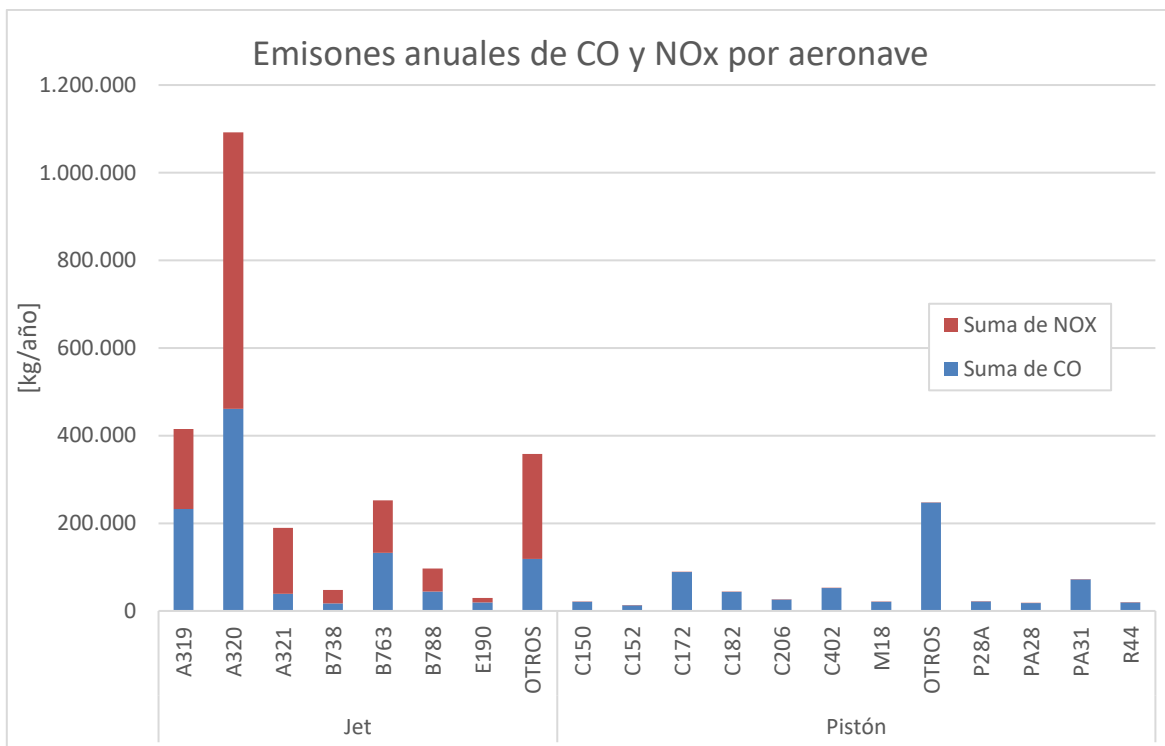


Figura 24: Emisiones totales de CO y NOx en año 2015 por aeronave

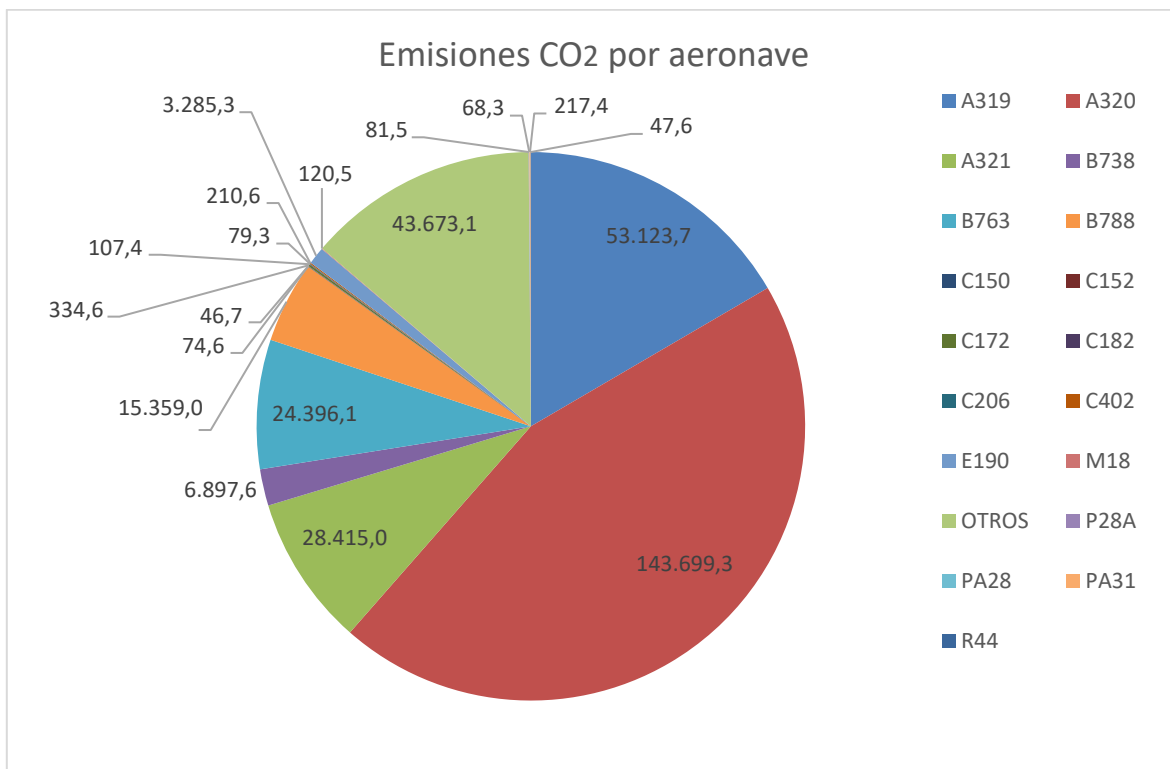


Figura 25: Toneladas de CO2 emitidas en año 2015 por aeronave

### 3.2.2 Emisiones anuales por aeródromo

Este apartado muestra las emisiones de CO, NOx y CO<sub>2</sub> de los aeródromos disponibles en la bitácora de actividades de la DGAC, segmentados por tipo de aeronave. Al analizar estos contaminantes por separado, los resultados de AMB fueron excluidos, puesto que este aeropuerto es descrito como caso particular en el punto 3.3. Además, estos resultados son significativamente mayores al resto del país, lo que dificulta el análisis visual de la información a través de gráficos.

Como resultados generales, mediante la Tabla 16 se muestra el inventario de emisiones generado para los aeródromos con mayores movimientos del país, para los contaminantes CO, HC, NOx, PM<sub>2,5</sub> y CO<sub>2</sub>. Se genera el segmento “Otros”, correspondiente a los aeródromos con más de 3.000 movimientos durante el año 2015. El inventario para todos los aeródromos del país, segmentados por domésticos e internacionales, se encuentra en el Anexo 5.

**Tabla 16: Principales emisiones en toneladas año, segmentadas por aeródromo**

| Ap./ad.                     | CO [ton/año] |         | HC [ton/año] |        | NOx [ton/año] |        | PM <sub>2,5</sub> [kg/año] |       | CO <sub>2</sub> [ton/año] |         |
|-----------------------------|--------------|---------|--------------|--------|---------------|--------|----------------------------|-------|---------------------------|---------|
|                             | I            | N       | I            | N      | I             | N      | I                          | N     | I                         | N       |
| AMB (ap.)                   | 388,35       | 285,15  | 64,26        | 53,96  | 554,88        | 362,21 | 2.940                      | 2.632 | 116.010                   | 84.329  |
| Carriel Sur                 | 0,18         | 47,69   | 0,03         | 6,10   | 0,11          | 37,39  | 2                          | 272   | 27                        | 8.861   |
| Cerro Moreno (ap.)          | 0,78         | 82,55   | 0,14         | 15,30  | 0,85          | 91,85  | 6                          | 618   | 205                       | 22.065  |
| Diego Aracena (Ap.)         | 12,98        | 56,58   | 2,32         | 8,16   | 13,45         | 49,65  | 91                         | 360   | 3.369                     | 11.896  |
| El Loa                      | 0,21         | 38,87   | 0,06         | 6,49   | 0,09          | 59,34  | 2                          | 476   | 32                        | 13.251  |
| El Tepual (Ap.)             | 0,25         | 57,62   | 0,05         | 10,19  | 0,03          | 76,18  | 1                          | 545   | 13                        | 17.288  |
| Eulogio Sánchez             | 0,00         | 131,53  | 0,00         | 3,67   | 0,00          | 0,41   | 0,00                       | 11    | 0,00                      | 449     |
| Gral. Bernardo O'higgins    | 0,03         | 35,01   | 0,00         | 0,99   | 0,00          | 0,13   | 0,00                       | 4     | 0,36                      | 129     |
| La Florida                  | 0,18         | 38,67   | 0,04         | 5,90   | 0,13          | 30,24  | 2                          | 205   | 36,11                     | 7.538   |
| Marcel Marchant             | 0,00         | 77,68   | 0,00         | 1,54   | 0,00          | 0,25   |                            | 5     | 0,00                      | 280     |
| Otros                       | 6,19         | 269,54  | 1,15         | 22,49  | 4,74          | 103,55 | 39                         | 742   | 1.126                     | 25.248  |
| Pdte. C. I. Del Campo (Ap.) | 1,49         | 55,06   | 0,25         | 4,64   | 1,26          | 31,09  | 11                         | 266   | 309                       | 7.154   |
| Rodelillo                   | 0,00         | 64,28   | 0,00         | 1,59   | 0,00          | 0,34   | 0,00                       | 6     | 0,00                      | 265     |
| Santo Domingo               | 0,00         | 32,68   | 0,00         | 0,86   | 0,00          | 0,14   | 0,00                       | 4     | 0,00                      | 128     |
| Viña del mar                | 0,15         | 22,85   | 0,01         | 0,83   | 0,06          | 0,42   | 1                          | 11    | 21                        | 200     |
| Total N/I                   | 410,79       | 1295,75 | 68,29        | 142,71 | 575,61        | 843,18 | 3.095                      | 6.156 | 121.147                   | 199.079 |
| Total                       | 1.706,54     |         | 211,00       |        | 1.418,79      |        | 9.251                      |       | 320.225                   |         |

Arturo Merino Benítez emite al año el 62,5% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, el 64,6% del NO<sub>x</sub> y el 40% del CO del país. Lo sigue el aeropuerto Cerro Moreno, en concordancia con el inventario regional de la Tabla 13, ya que se ubica en la región de Antofagasta. A este aeropuerto lo sigue El Tepual y Diego Aracena, todos internacionales.

Por su parte, los aeródromos La Florida y Pdte. Carlos Ibáñez del Campo, de las ciudades de Coquimbo y Punta Arenas respectivamente, también contribuyen con un importante porcentaje de los contaminantes emitidos, no correspondiéndose con la Figura 20 en relación a la cantidad de movimientos, lo que se justifica de acuerdo al tipo de aeronave presente en ambos aeródromos.

A partir de la Tabla 16 se puede observar también que las emisiones de CO y HC son considerablemente altas en aeródromos más pequeños, como Eulogio Sánchez, La Florida y Rodelillo, en relación a los aeropuertos presentes.

Es importante observar que todos los aeropuertos del país (7) están incluidos en la red aeroportuaria primaria, además de 9 aeródromos: El Loa, Desierto de Atacama, La Florida, Carriel Sur, La Araucanía, Pichoy, Balmaceda, Cañal Bajo Carlos Hott Siebert y Mocopulli.

A continuación, se exponen los resultados individuales por contaminante para todos los aeródromos del país, segmentados por tipo de aeronave. El grupo “Otros” para las naves sigue rigiéndose por el mismo filtro presentado en un comienzo (mayor a 10.000 operaciones).

En primer lugar, se presentan los resultados de monóxido de carbono por aeródromo, mediante la Figura 26. Eulogio Sánchez o Tobalaba, es el aeródromo con mayor emisión de CO del país (después de AMB), emitiendo 131,52 toneladas al año, equivalente al 13% del total nacional, donde las aeronaves C182 y C172 son las que mayor polución presentan, con un 16 y 10% respectivamente. El 99,7% de los movimientos de este aeródromo corresponden a aeronaves con motor tipo pistón, por lo que la emisión de CO de estas naves es igual al 99,54% del aeródromo.

Lo sigue el aeropuerto Cerro Moreno con un 8% de participación. Las aeronaves A320 y A319 son las principales emisoras de CO en este aeropuerto, con un 58 y 28% respectivamente, puesto que la principal actividad de este aeropuerto corresponde a transporte de pasajeros, carga y correo. Estas naves también predominan de la misma manera en los aeropuertos El Tepual y Diego Aracena, de la X y I región, además de los aeródromos El Loa y La Florida, en la región de Antofagasta y Coquimbo, respectivamente. Todos estos aeropuertos/aeródromos pertenecientes a la red aeroportuaria primaria.

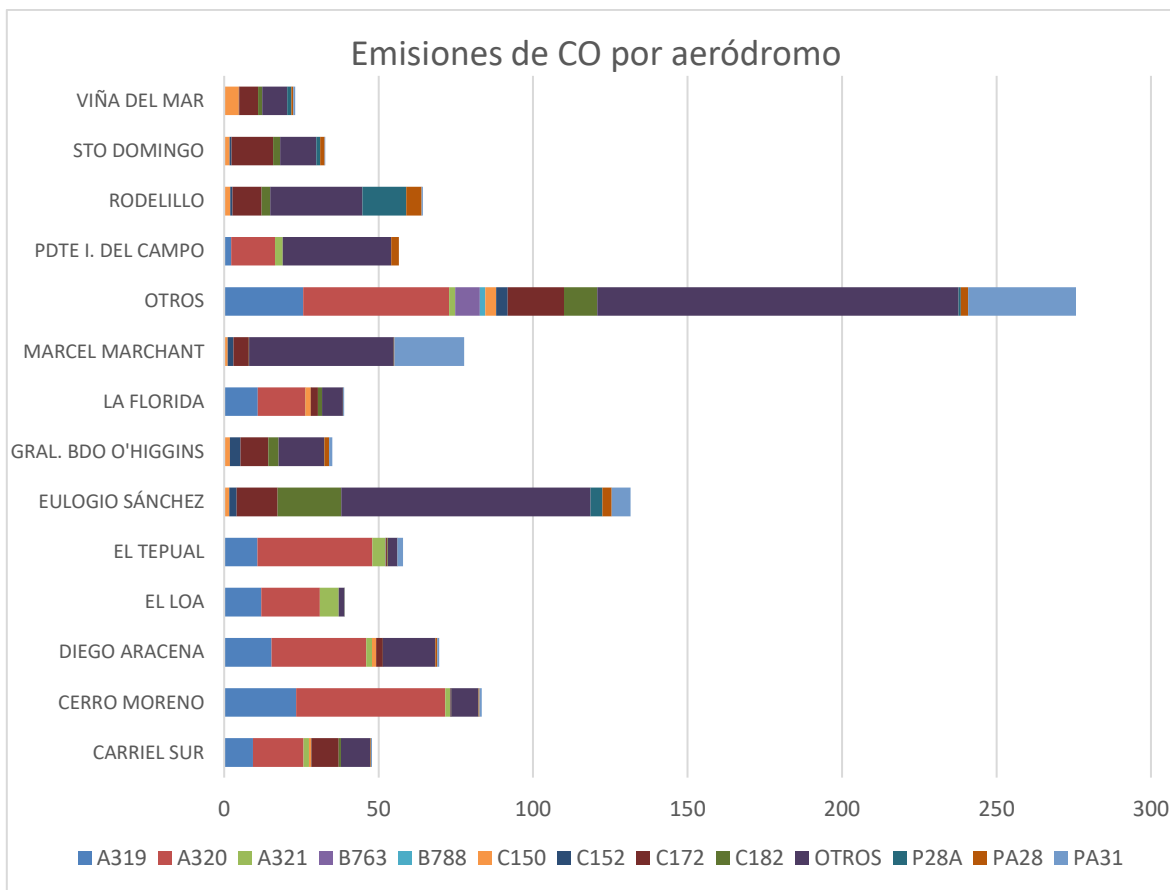


Figura 26: Toneladas de CO emitidas en los aeródromos del país en el 2015

El aeródromo Marcel Marchant, ubicado en la Región de Los Lagos (X región) y perteneciente a la red de pequeños aeródromos, emite el 7,5% del CO a nivel nacional. Este aeródromo solo realiza vuelos nacionales y exhibe una flota exclusiva de aeronaves tipo pistón. La nave BN2B es la que principal emisora de CO, con un 46% del total. Lo siguen las aeronaves PA31, C172 y C402, con un 29, 7 y 5% respectivamente.

Seguidamente encontramos los aeródromos Rodelillo, Carriel Sur y el aeropuerto Pdte. Carlos Ibáñez del Campo, con una participación del 38, 28 y 34% de la emisión nacional de CO. Rodelillo perteneciente a la red de pequeños aeródromos y a la quinta región, tiene un patrón principalmente pistón, siendo las aeronaves M18, P28A, C172 y PA28 las principales emisoras del aeródromo, las dos primeras aeronaves emiten el 22% del total de CO, mientras que las últimas dos corresponden al 15 y 8% respectivamente.

Carriel Sur por su parte, ubicado en la ciudad de Concepción (VIII región), presenta principalmente emisiones de aeronaves tipo Jet. A320 y A319 emiten el 34 y 19% de las emisiones del aeródromo, seguido del C172, aeronave tipo pistón, con un 18,4%.

El aeropuerto Pdte. Carlos I. Del Campo, ubicado en la ciudad de Punta Arenas (XII región), muestra un patrón dividido de aeronaves jet y pistón. La principal emisora es el modelo a pistón C402 de la empresa Cessna, con un 32%, seguido del A320 con un 25% y del C404, aeronave a pistón, con un 17%.

El segmento “Otros” se compone mayoritariamente de aeronaves pistón, con un 65,7%. Sin embargo, la principal emisión se debe a la nave A320 representando el 17,11%, seguida del modelo PA31 y C402, ambas con motor tipo pistón, con un 13 y 11%, respectivamente.

En segundo lugar, para visualizar las emisiones de NOx por aeródromo, se adjunta a continuación la Figura 27. Es notorio cómo las aeronaves comerciales tipo jet predominan en las emisiones de este contaminante a lo largo del país, donde el A320, A319 y A321 son las principales emisoras a nivel nacional. Es más, todos los aeródromos que presentan flotas de tipo pistón, como Eulogio Sánchez, Rodelillo, Viña del Mar y Santo Domingo, se ven significativamente reducidos en relación a la Figura anterior, no correspondiéndose con el nivel de actividad que presentan estos aeródromos según Figura 22 (se presenta el mismo comportamiento en las emisiones de CO<sub>2</sub>).

El aeropuerto que emite mayor NOx a nivel nacional (después de AMB) corresponde a Cerro Moreno con 92,7 toneladas al año, correspondientes al 6,5% del total nacional. Las aeronaves jet A320, A319 y A21 representan en conjunto el 97,4% de las emisiones de este aeropuerto.

Seguidamente se encuentran los aeropuertos El Tepual, Diego Aracena, Pdte. Carlos I. del Campo y los aeródromos El Loa, Carriel Sur y La Florida. Todos presentan los mismos patrones de emisiones que Cerro Moreno a nivel de aeronaves.

Del gráfico de la Figura 27 también se observa la predominancia en el segmento Otros de las aeronaves descritas anteriormente. En este segmento, se destacan los aeródromos Chacalluta, Desierto de Atacama y Balmaceda con un 5% en conjunto a nivel nacional, además del aeropuerto Mataverí de La Isla de Pascua con un 0,9% del total nacional.

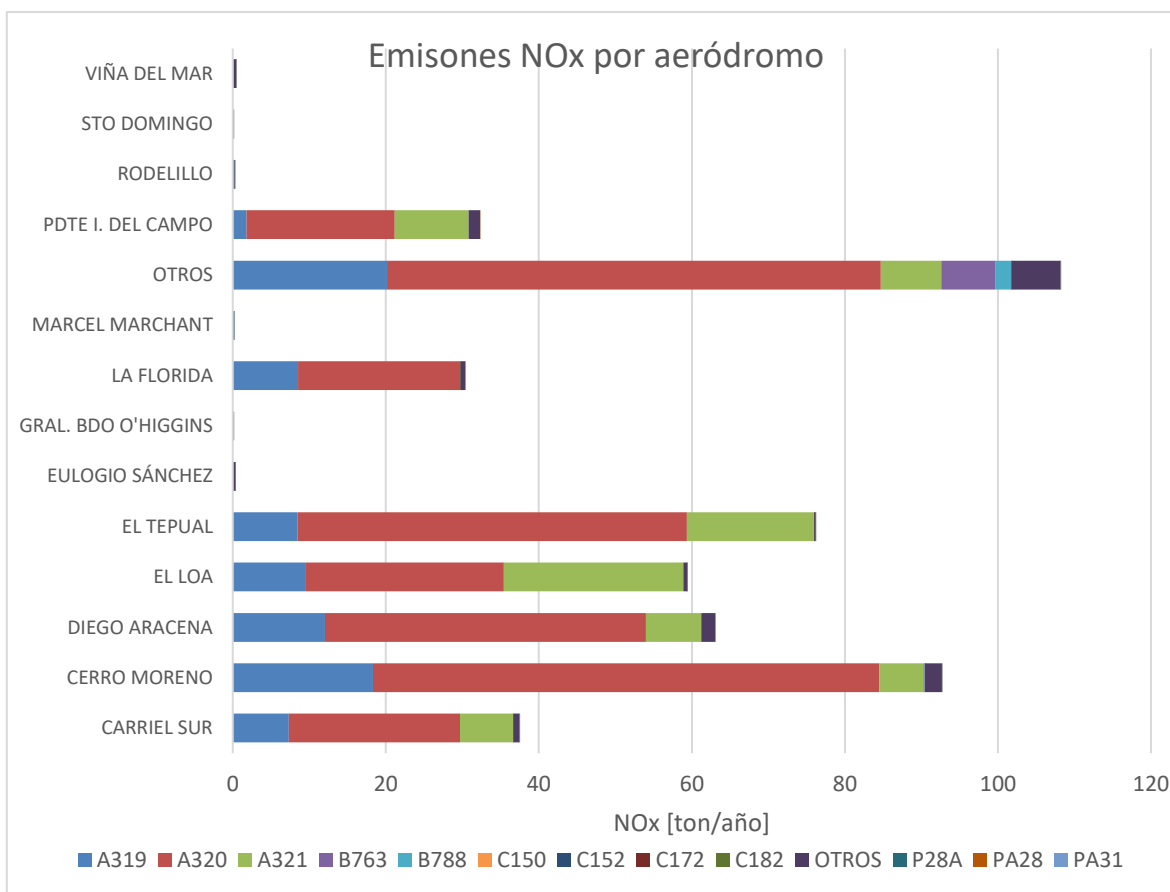


Figura 27: Toneladas de NOx emitidas en los aeropuertos del país en el 2015

Finalmente, por medio de la Figura 28 se observan las emisiones de CO<sub>2</sub> por aeródromo a nivel nacional. Es clara la correlación de este contaminante con las emisiones de NOx presentadas en la Figura anterior. Esto debido a que el dióxido de carbono es proporcional al consumo de combustible, mientras que el NOx se correlaciona de manera similar, como se presentó el inciso anterior al analizar las emisiones por LTO unitario.

Al igual que las dos figuras anteriores, Cerro Moreno es la principal fuente de CO<sub>2</sub>, emitiendo 22,3 toneladas al año, representado el 7% del total nacional. El patrón también corresponde a las naves A320, A319 y A321, que en conjunto emiten el 96,5% del total de este aeropuerto. En relación a las emisiones de CO, NOx y CO<sub>2</sub>, cabe mencionar que la región de Antofagasta no es la principal región a nivel de movimientos, sino que es la quinta y décima, luego de RM, no correspondiéndose con las emisiones, evidenciando la importancia de categorizar las flotas para obtener las emisiones.

Lo siguen los aeropuertos El Tepual y Diego Aracena, con el 5,4 y 4,8% del total nacional. Lo siguen los aeródromos El Loa, Carriel Sur y La Florida con un 4 y 2,8 y 2,3%. Solo en este último aeródromo no se ve observa una predominancia de emisiones de la aeronave A321.

Se destaca también el aeropuerto Pdte. Carlos I. del Campo, con el 2,33% a nivel nacional. El A320 es la mayor fuente de NOx en este aeropuerto, seguido del A321 y del A319, respectivamente,

donde las tres contribuyen en el 90,5% de las emisiones. También se observa la aeronave B462 de la empresa British Aerospace con un 3,2%, la cual en el año 2015 solo efectuó vuelos domésticos en las cercanías de Punta Arenas, como Puerto Williams, Puerto Montt, Balmaceda, La Antártica, entre otros.

El segmento Otros también demuestra el patrón de las aeronaves A320, A319 y A321 como el resto del país, representando un 55,7; 22,2 y un 6% del segmento. En cuanto a aeródromos, el principal emisor corresponde al aeropuerto Chacalluta con un 21,3%, seguido de los aeródromos La Araucanía con el 20,3%, Desierto de Atacama con el 16,7%, Balmaceda con el 15%, además del aeropuerto Mataveri con el 10,1% del total de este grupo.

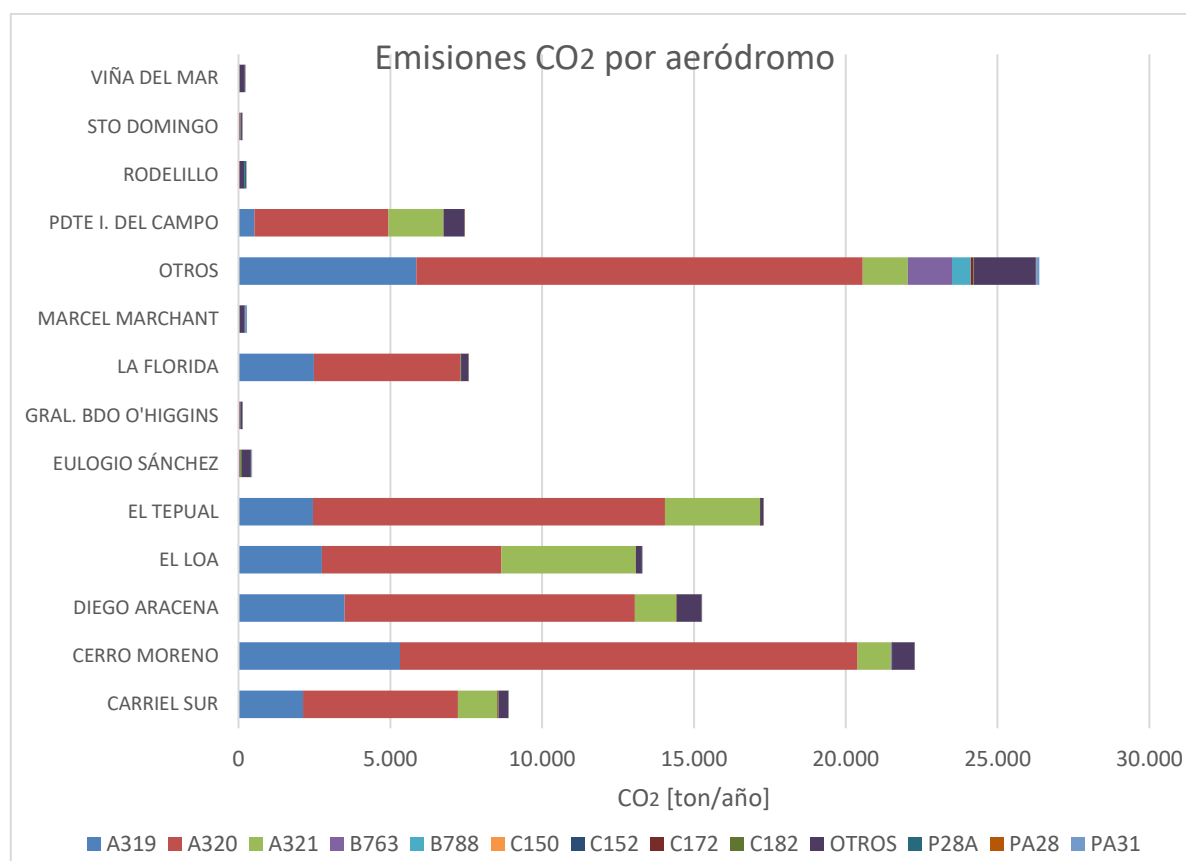


Figura 28: Toneladas de CO2 emitidas en los aeropuertos del país en el 2015

### 3.3 Caso estudio: Aeropuerto Arturo Merino Benítez

En esta sección se estudia en detalle el aeropuerto más importante del país, Arturo Merino Benítez, presentando primeramente sus actividades, caracterización de flota, sus emisiones LTO y CCD, además de las aerovías reales en relación a las emisiones de este aeropuerto.

La centralización de Santiago o de la región Metropolitana es clara en este aeropuerto, puesto que solo AMB comprende el 33,12% de los movimientos nacionales. En términos de actividad, como se

puede observar mediante la Tabla 17, lógicamente la principal actividad en AMB corresponde al transporte de pasajeros (94%), seguido de transporte de carga (2,7%), vuelos particulares (1,4%) y ambulancia aérea (1,09%). Esta última actividad se debe a que en la ciudad de Santiago se encuentran los principales hospitales del país, caso del hospital Dr. Luis Tisné Brousse, por ejemplo, el cual posee a nivel nacional la última tecnología en equipamiento para el área de maternidad, visualizándose desde otra perspectiva la centralización de Santiago.

Además, en la zona norte de AMB se encuentran las instalaciones de la FACH, contribuyendo en las actividades de instrucción (O) y vuelos de prueba (Y), equivalentes a 563 movimientos, igual al 0,44% de las operaciones del aeropuerto.

**Tabla 17: Frecuencia de actividades realizadas en AMB en el 2015**

| <b>Actividades AMB</b>                                     | <b>Frecuencia</b> |
|------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>I – Foto aéreas/topográficas</b>                        | 47                |
| <b>N – Ambulancia aérea</b>                                | 1.409             |
| <b>O – Instrucción</b>                                     | 421               |
| <b>P – Deportivas</b>                                      | 9                 |
| <b>R – Particulares</b>                                    | 1.778             |
| <b>T – Carga</b>                                           | 3.433             |
| <b>U – Pasajeros</b>                                       | 121.284           |
| <b>W – Sobrevuelo</b>                                      | 65                |
| <b>X – Vuelo de traslado sin pasajeros, carga o correo</b> | 422               |
| <b>Y – Vuelos de prueba/verificación/certificación</b>     | 142               |
| <b>Z – Vuelos ferry</b>                                    | 2                 |
| <b>Total</b>                                               | 129.012           |

En relación a la flota de AMB disponible para el cálculo de emisiones, esta consta de un total de 125 aeronaves, 84 modelos con motor tipo jet y 41 motor pistón. El total original en la bitácora de actividades contenía 178, incluyendo 7 helicópteros, por lo que la cantidad disponible corresponde al 73% del total inicial (sin contar los helicópteros).

Para categorizar la flota de AMB en el año 2015 en términos de movimientos, se adjunta la Figura 29. Este gráfico de torta visualiza claramente la presencia sobresaliente de la aeronave A320, la que efectuó 56.440 despegues/aterrizajes, equivalente al 43,8% de los movimientos del aeropuerto. Luego se observa el modelo A319 con 35.918 movimientos, igual al 20% de los movimientos. A este modelo lo siguen las naves A321 (7%), B763 (6%), B788 (5%) y B738 (4%), siendo las últimas 3 de la empresa Boeing. Las aeronaves tipo pistón, en su conjunto, representan el 1,22% de los movimientos de este aeropuerto.

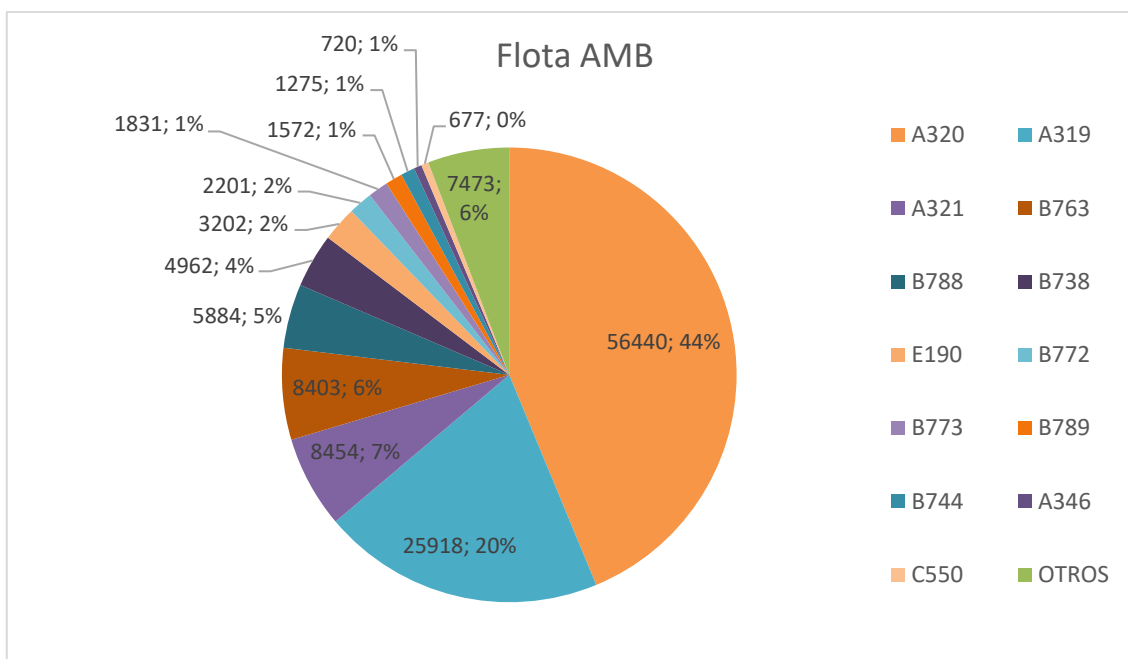


Figura 29: Flota de aeronaves en las operaciones de AMB el 2015

### 3.3.1 Emisiones LTO y CCD en AMB

En este punto se muestran los resultados obtenidos para las emisiones aeroportuarias y crucero para el aeropuerto AMB.

En primer lugar, se muestran las emisiones aeroportuarias o por ciclo LTO. A través de la Tabla 18 se adjuntan las emisiones desagregadas en vuelos nacionales e internacionales, en unidades de toneladas para los contaminantes CO, HC y NOx, mientras que el PM2,5 y el CO2 se muestran en kilos y miles de toneladas, respectivamente.

La Tabla 18 presenta las 15 aeronaves más contaminantes de dióxido de carbono, generando además el segmento Otros, comprendiendo las 110 aeronaves restantes de la flota de AMB.

La nave A320 se lleva el mayor porcentaje de todos los contaminantes de AMB, sumando vuelos nacionales como internacionales. Muy de cerca lo sigue la nave B763, emitiendo incluso más CO y NOx en vuelos internacionales. Se observan además varias aeronaves que no efectúan vuelos nacionales, como la B772, B738 y B744 y aun así están dentro de las naves más contaminantes de dióxido de carbono, puesto que son aeronaves catalogadas en tamaño Heavy, excepto la B738 que es Medium, lo que implica que consumen bastante combustible por el tipo de motor (ver Tabla 15). Cabe destacar que solo la aeronave A321 muestra “bajas” emisiones de dióxido de carbono y altas de óxidos de nitrógeno, siendo una de las aeronaves que mayores movimientos en el aeropuerto presenta en vuelos de cabotaje e internacionales.

Los totales de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y H<sub>2</sub>O para AMB con respecto a los totales nacionales, todos corresponden a más del 60% de participación, mientras que el CO y el HC representan un 40 y 56% respectivamente.

Tabla 18: Emisiones LTO de AMB en el año 2015

| Aeronaves        | CO [ton/año]  |        | HC [ton/año]  |       | NO <sub>x</sub> [ton/año] |        | PM <sub>2,5</sub> [kg/año] |          | CO <sub>2</sub> [kton/año] |       |
|------------------|---------------|--------|---------------|-------|---------------------------|--------|----------------------------|----------|----------------------------|-------|
|                  | I             | N      | I             | N     | I                         | N      | I                          | N        | I                          | N     |
| <b>A320</b>      | 72,07         | 160,65 | 14,30         | 31,87 | 98,61                     | 219,79 | 577,31                     | 1.286,84 | 22,46                      | 50,07 |
| <b>B763</b>      | 117,86        | 6,76   | 30,05         | 1,72  | 106,04                    | 6,08   | 626,07                     | 35,90    | 21,66                      | 1,24  |
| <b>B788</b>      | 41,34         | 1,34   | 1,52          | 0,05  | 48,87                     | 1,59   | 268,38                     | 8,72     | 14,29                      | 0,46  |
| <b>A319</b>      | 45,54         | 77,38  | 9,41          | 15,99 | 35,83                     | 60,88  | 278,74                     | 473,57   | 10,41                      | 17,69 |
| <b>B772</b>      | 13,55         | 0,00   | 0,49          | 0,00  | 67,37                     | 0,00   | 177,53                     | 0,00     | 8,34                       | 0,00  |
| <b>B773</b>      | 11,69         | 0,00   | 0,60          | 0,00  | 48,36                     | 0,00   | 147,29                     | 0,00     | 7,39                       | 0,00  |
| <b>B738</b>      | 17,52         | 0,01   | 1,79          | 0,00  | 30,50                     | 0,01   | 183,86                     | 0,06     | 6,88                       | 0,00  |
| <b>B744</b>      | 16,11         | 0,00   | 1,31          | 0,00  | 28,35                     | 0,00   | 136,62                     | 0,00     | 6,67                       | 0,00  |
| <b>A346</b>      | 5,42          | 0,00   | 0,08          | 0,00  | 23,28                     | 0,00   | 73,75                      | 0,00     | 3,82                       | 0,00  |
| <b>B789</b>      | 4,74          | 0,60   | 0,03          | 0,00  | 24,05                     | 3,06   | 72,25                      | 9,16     | 3,79                       | 0,48  |
| <b>E190</b>      | 19,42         | 0,00   | 1,82          | 0,00  | 10,30                     | 0,00   | 82,84                      | 0,00     | 3,29                       | 0,00  |
| <b>A321</b>      | 1,85          | 17,10  | 0,03          | 0,27  | 7,12                      | 65,95  | 73,53                      | 679,11   | 1,34                       | 12,42 |
| <b>A343</b>      | 4,83          | 0,05   | 0,75          | 0,01  | 6,67                      | 0,07   | 95,77                      | 1,00     | 1,22                       | 0,01  |
| <b>MD11</b>      | 2,21          | 0,06   | 0,17          | 0,00  | 4,66                      | 0,08   | 21,04                      | 0,42     | 1,00                       | 0,02  |
| <b>B748</b>      | 1,77          | 0,00   | 0,05          | 0,00  | 2,84                      | 0,00   | 13,19                      | 0,00     | 0,70                       | 0,00  |
| <b>Otros</b>     | 12,43         | 21,20  | 1,86          | 4,05  | 12,03                     | 4,69   | 111,93                     | 137,75   | 2,75                       | 1,91  |
| <b>Total N/I</b> | 388,35        | 285,15 | 64,26         | 53,96 | 554,88                    | 362,21 | 2.940,12                   | 2.632,52 | 116,01                     | 84,33 |
| <b>Total</b>     | <b>673,50</b> |        | <b>118,22</b> |       | <b>917,09</b>             |        | <b>5.572,64</b>            |          | <b>200,34</b>              |       |

Por otro lado, en relación a las emisiones crucero explicadas en el punto 2.1.3 del capítulo anterior, estos fueron obtenidas mediante un programa diseñado en Excel, el cual obtiene la distancia entre los aeropuertos origen/destino en base a las coordenadas geográficas latitud y longitud. Esta distancia es la que entrega la emisión resultante en el vuelo, de acuerdo a la base de datos de emisiones que entrega la guía de inventarios de la EEA. En el anexo digital se encuentran todos los valores proporcionados por la metodología (véase Anexo 4 para ejemplo de valores).

Ahora bien, como se dijo anteriormente, la flota de AMB en el año 2015 comprende 125 aeronaves de las 241 que fue posible calcular sus emisiones. En el caso de las emisiones crucero, el total de la flota se reduce considerablemente debido a la reducida cantidad de aeronaves que están en la base de datos de factores de emisión de la guía europea. Del total de aeronaves presentes, es posible calcular solo 27 tipos jet y 1 tipo pistón, correspondientes al 25% de la flota. Sin embargo, estas 28 aeronaves son las que presentan mayores movimientos en AMB, por lo que, en relación a los movimientos y por consiguiente de emisiones, la lista de naves corresponde al 96% del total de

movimientos realizados, siendo entonces un estudio lo suficientemente representativo del aeropuerto más importante de Chile, en términos de aeronaves jet.

En primer lugar, mediante la Tabla 19 se adjunta el inventario de contaminantes de AMB con los cuatro principales contaminantes anteriormente descritos. Todas las emisiones se exponen segregadas según vuelos nacionales e internacionales y por ciclo de operación, finalmente sumadas en su totalidad, medidas en toneladas y miles de toneladas anuales para el CO<sub>2</sub>.

Las emisiones en CCD presentan la misma proporción entre contaminantes que en todos los aeropuertos previamente analizados para el ciclo LTO. El HC y el material particulado siguen siendo los contaminantes menos emitidos con un 0,01% del total de emisiones en conjunto, seguidos del CO con el 0,07% del total, ambos valores se explicados por el tipo de aeronave y la consecuente baja combustión incompleta. El NO<sub>x</sub> corresponde al 0,5% del total, por lo que el CO<sub>2</sub> representa casi el 99% de las emisiones totales presentadas en la tabla (agregando el vapor de agua este porcentaje disminuye aproximadamente al 70%).

**Tabla 19: Inventario de contaminantes de AMB en los dos ciclos de operación, segregados en nacionales e internacionales**

| Ciclo        | CO [ton/año] |        | HC [ton/año] |        | NO <sub>x</sub> [ton/año] |          | PM <sub>2.5</sub> [ton/año] |       | CO <sub>2</sub> [kton/año] |     |
|--------------|--------------|--------|--------------|--------|---------------------------|----------|-----------------------------|-------|----------------------------|-----|
|              | I            | N      | I            | N      | I                         | N        | I                           | N     | I                          | N   |
| <b>LTO</b>   | 388,35       | 285,15 | 64,26        | 53,96  | 554,88                    | 362,21   | 2,9                         | 2,6   | 116                        | 84  |
| <b>CCD</b>   | 1.038,68     | 497,07 | 144,05       | 96,64  | 11.307,19                 | 3.141,95 | 98,18                       | 68,08 | 2.310                      | 621 |
| <b>Total</b> | 1427,03      | 782,22 | 208,31       | 150,60 | 11.862,07                 | 3.504,15 | 101,08                      | 70,68 | 2.426                      | 705 |
| <b>Total</b> | 2.209,25     |        | 358,91       |        | 15.366,22                 |          | 171,76                      |       | 3.131                      |     |

Con respecto a las aeronaves, mediante el gráfico de la Figura 30 se muestran las 10 aeronaves más contaminantes de AMB para la fase crucero, mostrándose el CO, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>. Se ordenaron en términos de mayor contaminación emitida de CO<sub>2</sub>, el cual se mide en miles de toneladas al año. El comportamiento de las naves A320 y B763 es muy similar, adjudicándose la mayor participación en polución del aeropuerto, con un 30 y 20% para el CO y un 20% de NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub><sup>23</sup>. Las naves A319, B788 y B772 también contribuyen en una proporción importante en las emisiones de los contaminantes mencionados. Además, cabe mencionar que estas 5 naves contribuyen en más del 50% de todos los movimientos ocurridos en AMB.

<sup>23</sup> Cada porcentaje se calculó con respecto a su propio total, no a la suma promedio de todos los contaminantes

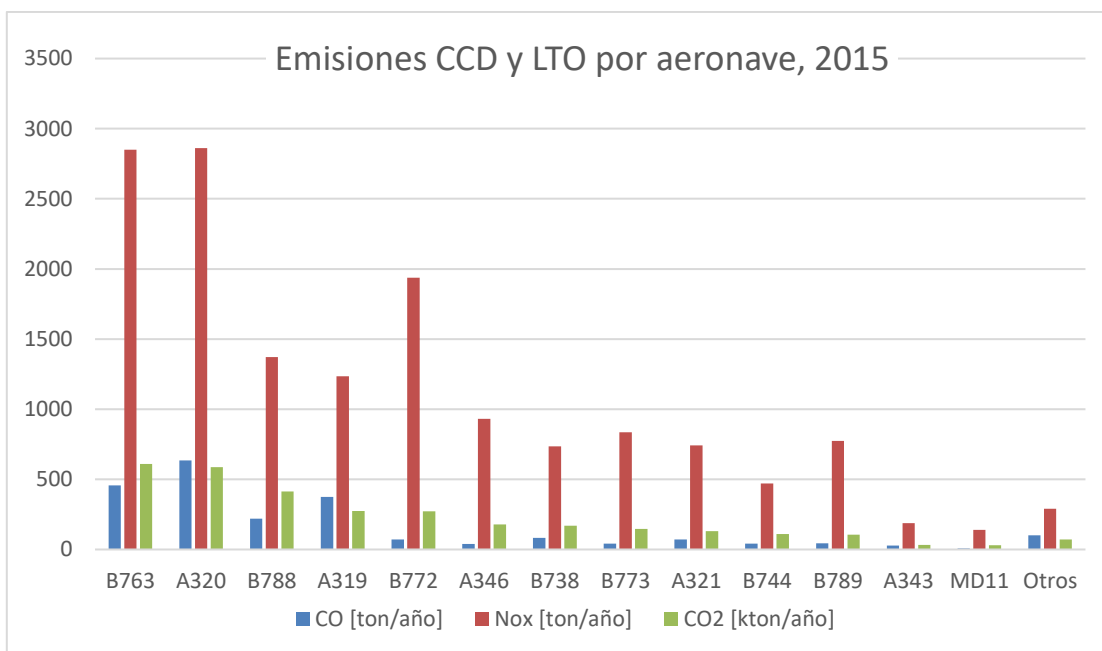


Figura 30: Emisiones fase crucero para AMB en el año 2015 segmentadas por aeronave

### 3.3.2 Mapa físico AMB

En esta sección se muestran las emisiones LTO de las principales aeronaves contaminantes según dióxido de carbono en las aerovías de AMB. No se incluyen los demás contaminantes para no generar una superposición engorrosa de ellos en la imagen, además de que el CO<sub>2</sub> es porcentualmente más importante en la combustión.

En primer lugar, se incluye el mapa de este aeropuerto en la Figura 31, distinguiéndose la pista al lado derecho de la infraestructura y la ruta aérea (color celeste) por encima de esta, la pista del lado izquierda corresponde al taxi-out/in del hangar cercano, no para el despegue, por lo que la totalidad de operaciones es realizada en la pista derecha.

Solo existen 2 direcciones posibles por encima de AMB, hacia el norte o hacia el sur, independiente del tipo de vuelo que se esté realizando, internacional o nacional, exceptuando los sobrevuelos y viajes sin instrumentación. Se observa una bifurcación en la ruta hacia el sur, pero con respecto a las emisiones esta no es relevante por su cercanía.

Para determinar las emisiones por ruta, primero se determina la flota que será enmarcada en el mapa físico. Esta elección se hizo en base a la Tabla 18, escogiéndose las cuatro aeronaves más contaminantes en dióxido de carbono en vuelos nacionales e internacionales: A320, A319, A321 y B763.



**Figura 31: Mapa de Arturo Merino Benítez y rutas aéreas [41]**

En cuanto a los destinos, en el total de vuelos (nacionales/internacionales) se encontraron 37 aeródromos hacia el norte y 28 aeródromos hacia el sur (ver Anexo 5 con los destinos por aeronave). Cabe mencionar que los destinos internacionales hacia Argentina, Brasil, Uruguay y Paraguay, se realizan a través del paso internacional cercano a la ciudad de Rancagua, por lo que los aeropuertos ubicados en estos países se segmentaron por la ruta sur. Además, se debe considerar que estas rutas no son representativas de los destinos internacionales originales de los pasajeros o la carga que es transportada, ya que aquí no se consideran las escalas de vuelo, sino que solo se observan los movimientos realizados en el territorio nacional.

En base a los destinos segmentados por aerovía y a las cuatro aeronaves mencionadas anteriormente, se confecciona el mapa físico de AMB presentado en la Figura 32 con las emisiones proporcionales según norte y sur. La Tabla 20 además, muestra los valores de este mapa con los totales emitidos por cada modelo seleccionado, según las dos rutas y su porcentaje de participación en relación a la emisión total de dióxido de carbono en AMB (200,34 [kton/año]).

La nave A320 por supuesto es el mayor emisor indiscutido en ambas direcciones, representando el 25% y 11% en dirección norte y sur, respectivamente. Hacia el norte la sigue el modelo A319 con un 10% del total emitido y con solo un 4% de las emisiones hacia el sur. Finalmente, los modelos A321 y B763 son los modelos con menos emisiones, representando ambas el 5% hacia el norte, mientras que hacia el sur presentan el 2% y 1%, respectivamente. En cuanto a los totales segmentados por ruta, 90 mil toneladas al año de CO<sub>2</sub> son emitidas en ruta norte, correspondientes al 72% de las emisiones seleccionadas en el mapa, por lo que la ruta sur emite el restante 28%, equivalente a 35 mil toneladas anuales de CO<sub>2</sub>.

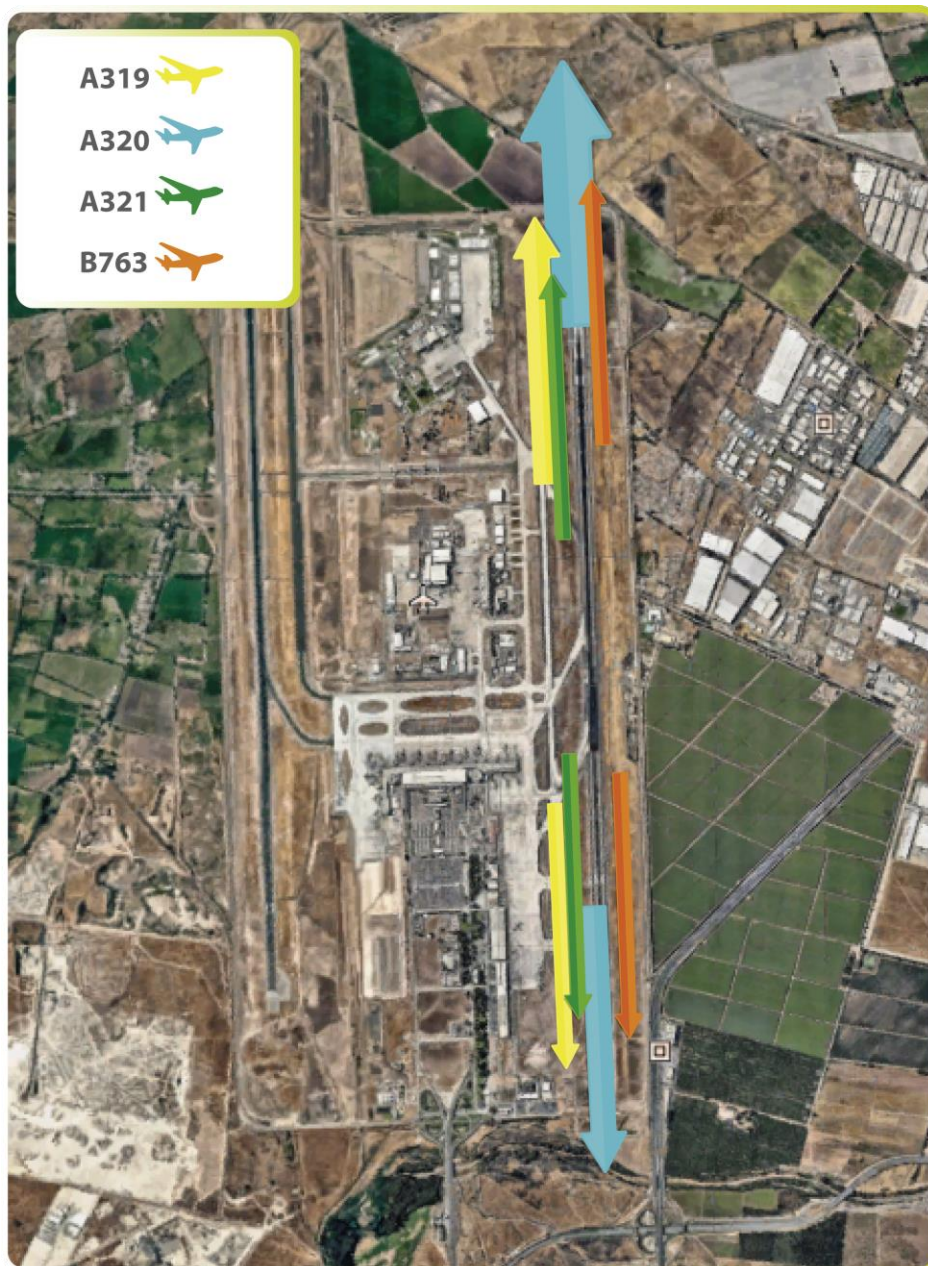


Figura 32: Mapa físico de AMB con emisiones anuales de CO<sub>2</sub> por aerovía y modelo de aeronave

Tabla 20: Emisión de CO2 por aerovías en miles de toneladas al año para diferentes modelos de naves

| Ruta  | A319  |         | A320  |         | A321  |         | B763  |         | Emisión total |
|-------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|---------------|
|       | CO2   | % total | CO2   | % total | CO2   | % total | CO2   | % total |               |
| Norte | 19,54 | 10%     | 49,28 | 25%     | 10,87 | 5%      | 10,15 | 5%      | 89,84         |
| Sur   | 7,02  | 4%      | 22,57 | 11%     | 3,33  | 2%      | 2,05  | 1%      | 124,81        |

### 3.4 Validación de resultados

En este punto se realiza la validación de todas las emisiones calculadas en este estudio, tanto por aeronave como los resultados a nivel nacional.

La estructura de esta sección consiste, en primer lugar, en la validación de las emisiones por ciclo LTO de las aeronaves disponibles en la bitácora nacional, contrastadas con las emisiones por LTO de la base de datos de la EEA y de las directrices del IPCC. También, se realiza la validación a partir del combustible vendido en Chile. Se contrastan, además, las emisiones de AMB con el inventario de la DGAC del 2015 y finalmente se comparan los resultados a nivel nacional con un inventario de emisiones realizado para el aeropuerto de Madrid para el año 2015.

#### 3.4.1 Validación por LTO

Tal como se mencionó anteriormente, la validación por LTO consiste en comparar los resultados de este estudio en el ciclo LTO mismo con los propuestos por la EEA y el IPCC.

##### EEA 2016

En el caso de la agencia europea, estos valores son presentados en el informe de la guía y en su base de datos de factores de emisión, a través de la página web de la agencia. Esta base de datos presenta factores de emisión en todos los sectores que abarca la guía para la confección de inventarios de emisiones.

En el caso de la aeronáutica, la EEA entrega emisiones en masa por ciclo LTO para un listado reducido de aeronaves, todas con motor tipo jet<sup>24</sup>, expuestas en la Tabla 21. La base de datos original entrega LTOs para 29 tipos de aeronaves, no obstante, en esta tabla se incluyen solo las naves presentes en los registros nacionales.

En relación a los contaminantes, la EEA entrega LTOs para CO, NOx, HC, CO2, SOx, combustible consumido, H2O y el material particulado total suspendido (TSP). Sin embargo, en la Tabla 21 solo se muestran los contaminantes originales del banco de emisiones de la OACI (CO, NOx y HC) y el consumo de combustible, puesto que estos son los resultados expuestos en la presente investigación, sin considerar el dióxido de carbono por ser proporcional a esta última estimación. El listado completo de LTOs por aeronave y contaminantes totales se encuentra en el anexo digital que acompaña a este documento.

<sup>24</sup> Los motores que utiliza la EEA para estimar las emisiones corresponden al más representativo para esa aeronave en las actividades de la Unión Europea

Tabla 21: Extracto de las emisiones por ciclo LTO expuestos en la guía de inventarios de la EEA [9]

| Aeronave | CO [kg/LTO] | NOx [kg/LTO] | HC [kg/LTO] | SOx [kg/LTO] | Fuel [kg/LTO] |
|----------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| A319     | 9,49        | 7,46         | 1,96        | 0,58         | 688,81        |
| A320     | 8,25        | 11,28        | 1,64        | 0,69         | 816,17        |
| A332     | 21,19       | 35,32        | 2,1         | 1,82         | 2.168,08      |
| A343     | 25,23       | 34,81        | 3,9         | 1,7          | 2.019,89      |
| A346     | 15,05       | 64,67        | 0,23        | 2,83         | 3.372,96      |
| B737     | 8,00        | 10,3         | 0,86        | 0,69         | 824,65        |
| B738     | 7,07        | 12,3         | 0,72        | 0,74         | 881,1         |
| B742     | 27,46       | 47,54        | 3,15        | 2,58         | 3.074,57      |
| B744     | 25,27       | 44,45        | 2,05        | 2,79         | 3.319,68      |
| B752     | 12,25       | 14,98        | 0,17        | 1,14         | 1.362,6       |
| B762     | 14,8        | 23,76        | 3,32        | 1,23         | 1.462,66      |
| B763     | 29,65       | 26,67        | 7,56        | 1,45         | 1.729,93      |
| B772     | 12,31       | 61,24        | 0,44        | 2,02         | 2.406,41      |
| B773     | 12,76       | 52,8         | 0,66        | 2,15         | 2.562,84      |
| B77W     | 47,54       | 69,79        | 5,1         | 2,6          | 3.090,84      |
| B788     | 7,97        | 49,8         | 0,3         | 2,92         | 3.474,43      |
| DC10     | 20,59       | 35,65        | 2,37        | 1,94         | 2.305,93      |
| MD11     | 18,28       | 38,17        | 1,43        | 2,21         | 2.627,91      |

Como se mencionó anteriormente, para corroborar la efectividad de los cálculos realizados, se compara que los LTOs de la EEA sean concordantes con los LTOs propios de la investigación, valores que en teoría debiesen ser idénticos, dado que se utilizó el motor que la EEA considera como representativo para cada aeronave en cuestión.

A fin de realizar esto, se confecciona la Tabla 22<sup>25</sup> a partir de la flota nacional de aeronaves, mostrando los LTOs resultantes, considerando el mismo tipo de contaminante que la tabla anterior. Aquí se observa claramente que todos los valores son equivalentes a los presentados en la tabla anterior, a excepción de la aeronave B788. La discrepancia de valores para esta aeronave es desconocida, puesto que el código del motor utilizado en el estudio es el mismo que presenta la EEA, tanto en su informe como en la base de datos de FE.

<sup>25</sup> La Tabla 22 fue confeccionada en base a dos decimales, lo que ocasionó exactitud con respecto a los valores de la EEA

Tabla 22: Extracto de los LTOs calculados en el estudio comparados con la EEA

| Aeronave    | CO [kg/LTO]  | NOx [kg/LTO] | HC [kg/LTO] | SOx [kg/LTO] | Fuel [kg/LTO]   |
|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|
| A319        | 9,49         | 7,46         | 1,96        | 0,58         | 688,81          |
| A320        | 8,25         | 11,28        | 1,64        | 0,69         | 816,17          |
| A332        | 21,19        | 35,32        | 2,10        | 1,82         | 2.168,08        |
| A343        | 25,23        | 34,81        | 3,90        | 1,70         | 2.019,89        |
| A346        | 15,05        | 64,67        | 0,23        | 2,83         | 3.372,96        |
| B737        | 8,00         | 10,30        | 0,86        | 0,69         | 824,65          |
| B738        | 7,07         | 12,30        | 0,72        | 0,74         | 881,10          |
| B742        | 27,46        | 47,54        | 3,15        | 2,58         | 3.074,57        |
| B744        | 25,27        | 44,45        | 2,05        | 2,79         | 3.319,68        |
| B752        | 12,25        | 14,98        | 0,17        | 1,14         | 1.362,60        |
| B762        | 14,80        | 23,76        | 3,32        | 1,23         | 1.462,66        |
| B763        | 29,65        | 26,67        | 7,56        | 1,45         | 1.729,93        |
| B772        | 12,31        | 61,24        | 0,44        | 2,02         | 2.406,41        |
| B773        | 12,76        | 52,80        | 0,66        | 2,15         | 2.562,84        |
| B77W        | 47,54        | 69,79        | 5,10        | 2,60         | 3.090,84        |
| <b>B788</b> | <b>14,51</b> | <b>17,15</b> | <b>0,53</b> | <b>2,92</b>  | <b>1.592,36</b> |
| DC10        | 20,59        | 35,65        | 2,37        | 1,94         | 2.305,93        |
| MD11        | 18,28        | 38,17        | 1,43        | 2,21         | 2.627,91        |

#### IPCC 2006

Otra fuente de información de LTOs corresponde al IPCC, los que son enunciados en el informe de las Directrices para la realización de inventarios de emisiones contaminantes del año 2006. Por medio de la Tabla 23 se muestran los LTOs presentados por esta organización, solo para las aeronaves presentes en la bitácora de actividades de la DGAC y para los contaminantes CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y el combustible consumido.

Originalmente esta tabla no contiene tipos de aeronaves, solo los modelos, pero se agregaron para lograr una comparación visual rápida con los LTOs calculadas en este estudio. Todos los modelos con numeración 700 corresponden a las aeronaves de la empresa Boeing, los que fueron corroborados para los tipos de naves nacionales mediante la base de datos de FE, el resto de modelos se corresponden con el tipo de aeronave que codifica OACI.

Los valores para las aeronaves comerciales grandes provienen del banco de datos de emisión de OACI. A diferencia de la EEA, para confeccionar la Tabla 23 en este segmento, IPCC seleccionó los tipos de motor para cada aeronave sobre una base coherente del motor con la mayoría de los LTO. Esto puede implicar la subestimación o sobreestimación de las emisiones de la flota que no está relacionada directamente con el consumo de combustible, como el NO<sub>x</sub>, CO y HC [23].

Por su parte, el CO<sub>2</sub> es calculado proporcionalmente al consumo de combustible mediante el factor 3,16, mientras que el SO<sub>2</sub> se basa en el supuesto de que el contenido de azufre en el combustible es igual al 0,05% [23], sin embargo, en el informe de esta organización los dióxidos de azufre se muestra como el 0,1% del combustible quemado. Cabe mencionar que todos los valores que presenta el IPCC corresponden a la data del año 2005.

**Tabla 23: Extracto LTOs para aeronaves típicos según IPCC [23]**

| Grupo aeronave                     | Modelo      | Tipo aeronave | CO <sub>2</sub> [kg/LTO] | NO <sub>x</sub> [kg/LTO] | CO [kg/LTO] | SO <sub>2</sub> [kg/LTO] | Fuel [kg/LTO] |
|------------------------------------|-------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|---------------|
| <b>Aviones comerciales grandes</b> | A319        | A319          | 2.310                    | 8,73                     | 6,35        | 1,72                     | 1.720         |
|                                    | A320        | A320          | 2.440                    | 9,01                     | 6,19        | 0,77                     | 770           |
|                                    | A321        | A321          | 3.020                    | 16,72                    | 7,55        | 0,96                     | 960           |
|                                    | A330        | A330          | 7.050                    | 33,57                    | 16,20       | 2,23                     | 2.230         |
|                                    | 727-200     | B722          | 4.610                    | 11,97                    | 27,16       | 1,46                     | 1.460         |
|                                    | 737-100/200 | B732          | 2.740                    | 6,74                     | 16,04       | 0,87                     | 870           |
|                                    | 737-300     | B733          | 2.480                    | 7,19                     | 13,03       | 0,78                     | 780           |
|                                    | 737-800     | B738          | 2.780                    | 12,30                    | 7,07        | 0,88                     | 880           |
|                                    | 747-200     | B742          | 11.370                   | 49,52                    | 79,78       | 3,60                     | 3.600         |
|                                    | 747-400     | B744          | 10.240                   | 42,88                    | 26,72       | 3,24                     | 3.240         |
|                                    | 757-200     | B752          | 4.320                    | 23,43                    | 8,08        | 1,37                     | 1.370         |
|                                    | 767-200     | B762          | 4.620                    | 23,76                    | 14,80       | 1,46                     | 1.460         |
|                                    | 767-300     | B763          | 5.610                    | 28,19                    | 14,47       | 1,77                     | 1.780         |
|                                    | 767-400     | B764          | 5.520                    | 24,80                    | 12,37       | 1,75                     | 1.750         |
|                                    | 777-200     | B772          | 8.100                    | 52,81                    | 12,76       | 2,56                     | 2.560         |
|                                    | 777-300     | B773          | 8.100                    | 52,81                    | 12,76       | 2,56                     | 2.560         |
|                                    | DC10        | DC10          | 7.290                    | 35,65                    | 20,59       | 2,31                     | 2.310         |
| <b>Aviones jet regionales</b>      | RJ85        | RJ85          | 1.910                    | 4,34                     | 11,21       | 0,60                     | 600           |
|                                    | BAE 146     | B462          | 1.800                    | 4,07                     | 11,18       | 0,57                     | 570           |
| <b>Pequeño empuje</b>              | C525        | C525          | 1.070                    | 0,74                     | 34,07       | 0,34                     | 340           |

Se muestran a continuación los LTOs calculados en este estudio, mediante la Tabla 24, mostrando las mismas aeronaves y contaminantes presentadas por IPCC en la tabla anterior. Se observan diferencias en todos los contaminantes y para todas las aeronaves seleccionadas. Sin embargo, ninguno presenta una desviación excesiva, en promedio todos los contaminantes son inferiores a los del IPCC en menos del 10%, a diferencia del dióxido de azufre que presenta un 34% menos en promedio para los valores propios calculados. Como se mencionó anteriormente, los LTOs del IPCC corresponden al 0,1% del consumo de combustible, mientras que la metodología propia asume un 0,084%, lo que lógicamente arroja porcentajes comparativos relativamente desviados.

Tabla 24: Extracto de los LTOs calculados en el estudio comparados con IPCC

| Grupo aeronave              | Tipo Aeronave | CO <sub>2</sub> [kg/LTO] | NO <sub>x</sub> [kg/LTO] | CO [kg/LTO] | SO <sub>2</sub> [kg/LTO] | Fuel [kg/LTO] |
|-----------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|---------------|
| Aviones comerciales grandes | A319          | 2.169,07                 | 7,46                     | 9,49        | 0,58                     | 688,81        |
|                             | A320          | 2.570,11                 | 11,28                    | 8,25        | 0,69                     | 816,17        |
|                             | A321          | 3.257,85                 | 17,29                    | 4,48        | 0,87                     | 1.034,57      |
|                             | A330          | 2.570,11                 | 11,28                    | 8,25        | 0,69                     | 816,17        |
|                             | B722          | 4.653,82                 | 12,65                    | 12,73       | 1,24                     | 1.477,87      |
|                             | B732          | 2.858,96                 | 7,30                     | 6,35        | 0,76                     | 907,90        |
|                             | B733          | 2.467,03                 | 7,19                     | 13,04       | 0,66                     | 783,43        |
|                             | B738          | 2.774,58                 | 12,30                    | 7,07        | 0,74                     | 881,10        |
|                             | B742          | 9.681,81                 | 47,54                    | 27,46       | 2,58                     | 3.074,57      |
|                             | B744          | 10.453,67                | 44,45                    | 25,27       | 2,79                     | 3.319,68      |
|                             | B752          | 4.290,83                 | 14,98                    | 12,25       | 1,14                     | 1.362,60      |
|                             | B762          | 4.605,90                 | 23,76                    | 14,80       | 1,23                     | 1.462,66      |
|                             | B763          | 5.447,56                 | 26,67                    | 29,65       | 1,45                     | 1.729,93      |
|                             | B764          | 5.460,59                 | 24,84                    | 12,33       | 1,46                     | 1.734,07      |
|                             | B772          | 7.577,78                 | 61,24                    | 12,31       | 2,02                     | 2.406,41      |
|                             | B773          | 8.070,38                 | 52,80                    | 12,76       | 2,15                     | 2.562,84      |
|                             | DC10          | 7.261,36                 | 35,65                    | 20,59       | 1,94                     | 2.305,93      |
| Aviones jet regionales      | RJ85          | 1.899,13                 | 4,34                     | 11,21       | 0,51                     | 603,09        |
|                             | B462          | 1.795,06                 | 4,07                     | 11,18       | 0,48                     | 570,04        |
| Pequeño empuje              | C525          | 445,29                   | 0,53                     | 10,61       | 0,12                     | 141,41        |

Para comparar de mejor manera los valores de los principales contaminantes mencionados en este estudio, CO, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>, se confecciona la Figura 33 donde se muestran los valores de IPCC en el eje horizontal y los valores propios en el eje vertical. El CO y el NO<sub>x</sub> son medidos en kg por LTO, mientras que el CO<sub>2</sub> es medido en toneladas por LTO.

Se observa que el CO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> se correlacionan linealmente con los valores del Panel Intergubernamental, a diferencia del CO, aunque se encuentran concentrados en una región determinada del gráfico, desviándose menos del 30% en promedio. Aquí se evidencia además cómo afecta el tipo de tecnología del motor en los niveles de monóxido de carbono, puesto que los valores presentan diferencias al comparar motores diferentes para una misma nave.

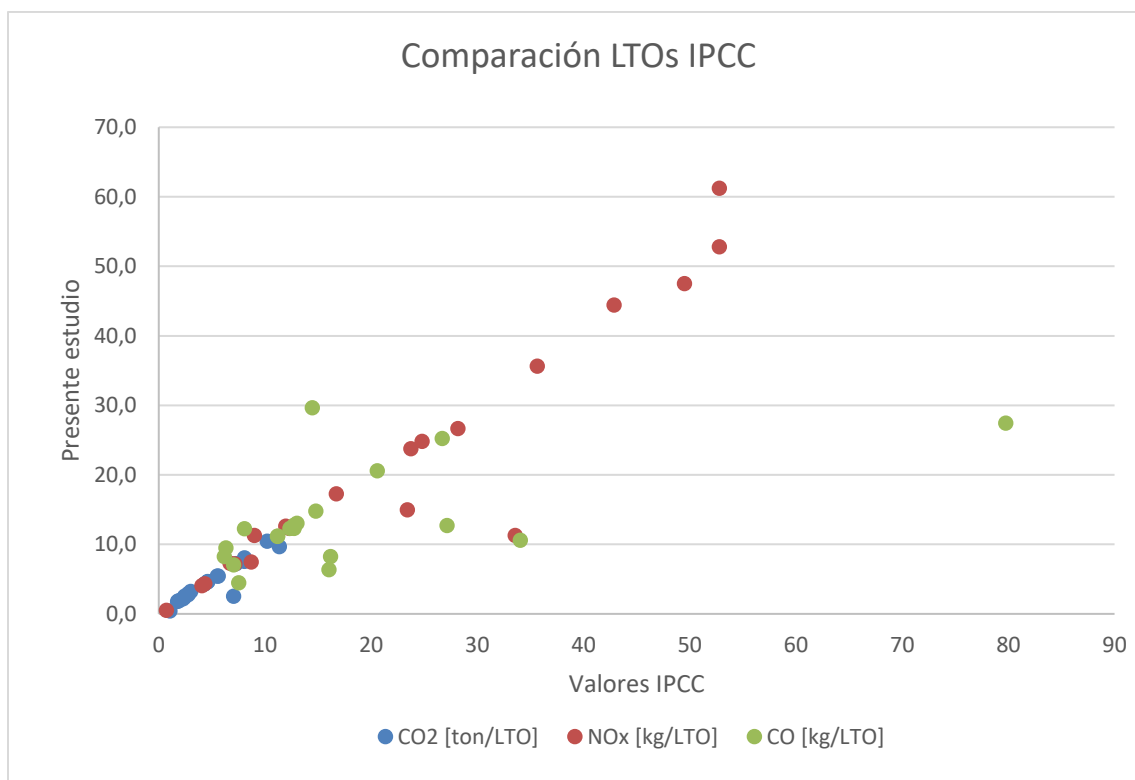


Figura 33: Comparación de factores de emisión LTO de IPCC y el presente estudio

### 3.4.2 Validación resultados nacionales y CCD en AMB

Esta forma de validación consiste en corroborar los resultados LTO a nivel nacional por consumo de combustible y CCD de AMB por medio de dos métodos: primero con el combustible quemado obtenido en el inventario con la venta nacional de combustible para la aeronáutica, y segundo con el inventario de emisiones realizado por la DGAC en el año 2015.

El combustible utilizado por la industria aeronáutica corresponde a una de las 13 categorías en la venta nacional de todos los combustibles líquidos<sup>26</sup> por región del país, la cual es publicada en la plataforma web Energía Abierta, perteneciente a la Comisión Nacional de Energía (CNE). La fuente de esta data es la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), ya que esta es el organismo fiscalizador de todos los combustibles líquidos y gaseosos que son almacenados, distribuidos, transportados y manipulados a lo largo del país.

Como se ha mencionado reiteradas veces, la metodología utilizada en el inventario nacional requiere que la información de las emisiones y combustible quemado esté segregada en vuelos nacionales e internacionales, con el fin de reportar las emisiones propias del país en cuestión de las emisiones bunker. Lamentablemente, Chile no reporta la información de esta índole de manera desagregada, las importaciones/exportaciones con mayor nivel de detalle no son de carácter

<sup>26</sup> Estadística para los combustibles líquidos reconocidos en Chile: diésel, gasolinas, kerosene y sus derivados

público, la cual es recolectada por el Servicio Nacional de Aduanas y reportada por las empresas que realizan el ejercicio de exportar combustibles.

A continuación, se muestra en la Tabla 25 el total de combustible vendido en la región Metropolitana (RM) para el sector aeronáutico en el año 2015. Desde la fuente se hace una distinción entre el total vendido para la gasolina y el kerosene de aviación.

**Tabla 25: Venta de combustibles para la aviación durante el año 2015 en Chile y en RM [42]**

| <b>Tipo combustible</b>     | <b>Gasolina de Aviación</b> |                    | <b>Kerosene de Aviación</b> |                      |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| <b>Total Nacional</b>       | 6.001 [m <sup>3</sup> ]     | <b>4.201 [ton]</b> | 1.205.381 [m <sup>3</sup> ] | <b>976.359 [ton]</b> |
| <b>Región Metropolitana</b> | 2.127 [m <sup>3</sup> ]     | <b>1.489 [ton]</b> | 1.022.676 [m <sup>3</sup> ] | <b>828.368 [ton]</b> |

La venta de combustibles es reportada originalmente en unidad de volumen [m<sup>3</sup>]. Para transformar esta unidad a masa y comparar con los resultados del inventario, se utiliza una densidad presentada por la CNE en los reportes de hidrocarburos importados mediante su página web, valores correspondientes a 0,700 [ton/m<sup>3</sup>] para la gasolina y 0,810 [ton/m<sup>3</sup>] para el kerosene [43].

#### **Consumo de combustible LTO (nacional)**

El inventario nacional de esta investigación corresponde solo a emisiones aeroportuarias, por lo que no es posible comparar este resultado de forma directa con las ventas de consumo de combustible reportadas por la CNE, puesto que el combustible es calculado siempre para la trayectoria completa de vuelo, perdiendo sentido la cuantificación solo por ciclo LTO en cuanto a las prácticas reales de operaciones aéreas.

Según la literatura, el consumo de combustible para el LTO corresponde aproximadamente al 10% del consumo en trayectoria total [23]. Por tanto, al comparar los resultados obtenidos en el estudio directamente con el combustible expendidos en forma de porcentaje, se obtienen los valores mostrados en la Tabla 26 siguiente. El porcentaje relativo se construyó como la razón entre los resultados propios sobre los resultados de la CNE. La gasolina para la aviación presenta un porcentaje del 17%, mientras que el kerosene coincide con el 10% teórico.

**Tabla 26: comparación consumo de combustible en LTO a nivel nacional**

| <b>Combustible LTO</b> | <b>CNE<br/>(total nacional)</b> | <b>Presente estudio</b> | <b>% relativo</b> |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Gasolina [ton]</b>  | 4.201                           | 702                     | <b>17%</b>        |
| <b>Kerosene [ton]</b>  | 976.359                         | 89.922                  | <b>10%</b>        |

La notoria diferencia en el consumo de gasolina se atribuye al supuesto realizado en los motores de las aeronaves pistón para poder abarcar una mayor cantidad de ellas, además de dejar fuera varios helicópteros con este tipo de motor, haciendo crecer la diferencia entre el combustible vendido y

el consumido. También influye el supuesto del 10%, puesto que ambos tipos de aeronaves consumen combustible en distintos ratios, no siendo muy representativo en las naves pistón.

Por otro lado, muy pocos aeródromos de la red de pequeños aeródromos se incluían en la bitácora de actividades, los que en su totalidad consumen gasolina para la aviación, siendo excluidos de los cálculos y por consiguiente del consumo de combustible nacional.

En forma general, se debe considerar también que esta comparación de combustible se hace bajo el supuesto de que todo el combustible que es reportado como vendido es consumido completamente [9], implicando una incertidumbre en los resultados comparativos.

#### **Consumo de combustible AMB (CCD)**

En primer lugar, mediante la Tabla 27 se muestra el consumo de combustible en los 4 aeródromos/aeropuertos presentes en RM según la bitácora de actividades. Se observan los totales por tipo de combustible y su porcentaje de participación en el total consumido.

Cabe mencionar que, para los tres aeródromos presentes los totales de combustible corresponden solo al ciclo LTO, ya que la fase crucero fue solo aplicada a AMB. De todas maneras, al ser pequeños aeródromos, ninguno tiene aeronaves tipo jet en su flota, lo que no repercute en el total de kerosene vendido, solo en la gasolina.

**Tabla 27: Resultados de consumo de combustible en los aeródromos de RM separados en tipo de combustible.**

| Ap./ad.                      | Kerosene [ton/año] | % total | Gasolina [ton/año] | % total |
|------------------------------|--------------------|---------|--------------------|---------|
| <b>AMB (CCD + LTO)</b>       | 636.170,73         | 100%    | 8,13               | 5,3%    |
| <b>Curacaví</b>              | 0                  | 0       | 10,75              | 7,0%    |
| <b>Eulogio Sánchez</b>       | 0                  | 0       | 133,36             | 87,2%   |
| <b>Municipal de Vitacura</b> | 0                  | 0       | 0,65               | 0,4%    |
| <b>Total</b>                 | 636.170,73         | 100%    | 152,89             | 100%    |

Ya que los aeródromos mencionados en la tabla anterior no realizan vuelos internacionales, el total de kerosene vendido en RM corresponde en un 100% al consumido en AMB. En el caso de la gasolina, Eulogio Sánchez se lleva casi la totalidad de este combustible con un 87%, seguido de Curacaví con un 7% y luego AMB con un 5%.

Como no existe el dato público exacto del total de combustible expendido en AMB, se comparan las proporciones de la Tabla 27 con los valores de Energía abierta de la Tabla 25, dando como resultado la Tabla 28 a continuación.

**Tabla 28: Consumo de combustible en AMB el 2015 y porcentaje según CNE**

| Fuente información           | Gasolina [ton/año] | Kerosene [ton/año] |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>CNE - AMB</b>             | 78,91              | 828.367,56         |
| <b>Resultado propios AMB</b> | 8,13               | 636.170,73         |
| <b>% relativo</b>            | 10%                | 77%                |

La gasolina para la aviación es la que más error muestra en el porcentaje relativo con respecto al combustible vendido por energía abierta. Esto se debe a que la flota que utiliza el modo crucero incorpora muy pocas naves tipo pistón, como se describió en el punto 3.3.1 sobre las emisiones de AMB, solo existe en fase CCD una aeronave pistón para este aeropuerto, lo que resulta en una diferencia porcentual bastante grande, además de que supuestamente el ciclo LTO corresponde al 10% del total consumido, incidiendo muy poco en los totales vendidos como se observó en la Tabla 26.

En el caso del kerosene la diferencia porcentual es más reducida. Lo que incide directamente aquí es la cantidad de aeronaves presentes en el modelo para CCD, representando el 90% de los movimientos de AMB y no su totalidad. Además, como no se cuenta con el porcentaje de combustible vendido en ese aeropuerto, se comparan valores teóricos (energía abierta) con experimentales, lo que suscita a un error en los resultados porcentuales también.

Se debe considerar también que la incertidumbre de los FE de la OACI se estima entre un 5 y un 10% para el ciclo LTO. En el caso del ciclo CCD, la incertidumbre se asume entre un 15 y un 40%, lo que implica errores considerables entre valores teóricos (CNE) y los experimentales [9].

#### ***Inventario de emisiones DGAC***

Como ya se describió en el punto 1.4 sobre estudio previos, la DGAC realiza un plan de gestión ambiental en AMB, monitoreando el ruido y las emisiones contaminantes de este aeropuerto, tanto por tráfico aéreo como por flujo vehicular y fuentes externas.

En particular, las emisiones aéreas son estimadas a través de un software desarrollado por la FAA y sus resultados se muestran en función de los aterrizajes y despegues efectuados ese año, presentando resultados para el material particulado respirable MP<sub>10</sub>, material particulado respirable fino MP<sub>2,5</sub>, monóxido de carbono (CO), gases orgánicos totales (TOG), hidrocarburos no metánicos (NMHC), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y sulfuros SO<sub>x</sub> [28].

Los resultados del inventario de la DGAC y los resultados de este estudio son presentados a continuación en la Tabla 29, además de una comparación porcentual entre ambos valores.

El porcentaje fue calculado como los resultados propios sobre los resultados de la DGAC. Se observa que todos los valores de los contaminantes obtenidos en este estudio son menores que los obtenidos por el inventario de la DGAC, a excepción del NO<sub>x</sub>, sobrepasándolo en un 44%.

Se entiende que el inventario de la DGAC es mucho más preciso, debido a la cantidad de información que el software requiere para simular los resultados, por lo que es de esperarse que los resultados de este estudio sean diferentes e inferiores, considerando además el filtro y los supuestos que se generaron a la base de datos en un comienzo por la información disponible según las aeronaves.

La anomalía del NOx puede atribuirse a la flota que la DGAC estima en el inventario, ya que en el informe no se mencionan las aeronaves tipo pistón o qué tipo de actividad fue seleccionada para los cálculos, si no que presentan una flota tipo jet. Además, los supuestos sobre el motor en las naves jet y pistón, puede generar una sobreestimación de acuerdo a la flota en AMB, ya que el NOx se ve directamente influenciado por la tecnología.

**Tabla 29: Comparación resultados inventario DGAC y estudio propio, año 2015 [28]**

| <b>Inventario</b> | <b>CO<br/>[ton/año]</b> | <b>VOC<br/>[ton/año]</b> | <b>TOG<br/>[ton/año]</b> | <b>NOx<br/>[ton/año]</b> | <b>SOx<br/>[ton/año]</b> | <b>PM2,5<br/>[ton/año]</b> |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>DGAC</b>       | 1.174,94                | 150,54                   | 154,41                   | 639,00                   | 73,48                    | 18,01                      |
| <b>Estudio</b>    | 673,50                  | 129,41                   | 144,52                   | 917,09                   | 53,44 <sup>27</sup>      | 5,57                       |
| <b>% relativo</b> | 57%                     | 86%                      | 94%                      | 144%                     | 73%                      | 31%                        |

### 3.4.3 Validación Inventario internacional

Los resultados de esta investigación a nivel nacional son comparados con dos estudios internacionales en ciclo LTO. El primero corresponde a las estimaciones en el año 2015 del principal aeropuerto de España, Adolfo Suárez Madrid-Barajas, y el segundo, al inventario de las emisiones de todos los aeropuertos del Estado de Texas en EE.UU. para el año 2014, presentando también una tendencia en la serie de tiempo 2008-2050. A continuación, se describen ambos procedimientos comparativos.

#### *Inventario Madrid, España*

El aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, registró en 2015 un tráfico de 46,8 millones de pasajeros [8] y 366.608 operaciones [44]. Ese mismo año, en todo Chile se transportaron 18.153.542 de pasajeros [10] y se realizaron 389.572 operaciones (según este estudio). Esto quiere decir que solo con el inventario realizado para ese aeropuerto es posible comparar los resultados de todo el país.

El inventario español, al ser parte de la Unión Europea, utiliza la metodología propuesta por la EEA, además de los tiempos estándar en los modos de operación para el ciclo LTO de la OACI. Este inventario muestra sus resultados en base a la cantidad de emisión por motor de los aviones que realizaron operaciones en el aeropuerto de Barajas, dado que hay aeronaves que pueden utilizar hasta tres diferentes tipos de motor, segmentaron las emisiones según tres opciones [8]:

<sup>27</sup> Este valor corresponde al dióxido de azufre, no a los óxidos como grupo genérico

- Opción A: Motores que menos cantidad de contaminantes emiten a la atmósfera
- Opción B: Cantidad intermedia de contaminación atmosférica
- Opción C: Motores que más contaminantes emiten a la atmósfera

A continuación, mediante la Tabla 30 se presentan los resultados del estudio de la Universidad Politécnica de Madrid, solo para la actividad comercial, puesto que los movimientos totales no son representativos del país completo. Esta clase de actividad tuvo 365.944 operaciones [45] en el aeropuerto español según la estadística de Aena, sociedad mercantil estatal española que gestiona los helipuertos y aeropuertos de forma digital en ese país [46].

Los resultados del estudio español muestran valores para hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono, expresados en toneladas al año, a excepción del dióxido de carbono que se muestra en miles. Se agrega además el valor promedio para las tres opciones de emisión.

**Tabla 30: Emisiones vuelos comerciales del aeropuerto Madrid-Barajas [8]**

| Opciones | HC [ton/año] | CO [ton/año] | NOx [ton/año] | CO <sub>2</sub> [kton/año] |
|----------|--------------|--------------|---------------|----------------------------|
| A        | 142,43       | 1.849,51     | 3.727,76      | 348,34                     |
| B        | 172,11       | 1.828,72     | 3.772,90      | 352,71                     |
| C        | 311,56       | 2.401,35     | 3.961,75      | 359,98                     |
| Promedio | 208,70       | 2.026,52     | 3.820,80      | 353,68                     |

Para realizar la comparación entre resultados, se genera la Tabla 31 con los totales del inventario nacional para el ciclo LTO el año 2015. Se seleccionaron las operaciones comerciales realizadas en Chile, correspondientes a las actividades de pasajeros, carga y correo, puesto que son las únicas con fines de lucro, según lo define el código aeronáutico nacional. A esta tabla se le adjunta el total de operaciones en el país para esas actividades, además de los porcentajes relativos entre las emisiones resultantes de este estudio y los del inventario español.

**Tabla 31: Resultados del estudio en vuelos comerciales, comparativos al aeropuerto español**

| Vuelos comerciales | HC [ton/año] | CO [ton/año] | NOx [ton/año] | CO <sub>2</sub> [kton/año] | Operaciones |
|--------------------|--------------|--------------|---------------|----------------------------|-------------|
| Total              | 196,97       | 1.347,22     | 1.411,33      | 317,06                     | 271.761     |
| % relativo         | 94,4%        | 66,5%        | 36,9%         | 89,6%                      | 74,3%       |

De la tabla anterior se observa que las operaciones comerciales en el aeropuerto Madrid-Barajas sobrepasan a las de todo el país en casi un 25%, por lo que es correcto esperar que todas las emisiones nacionales presenten valores inferiores a los de Madrid. Sin embargo, no se correlaciona este porcentaje con las proporciones de las emisiones, puesto que las actividades comerciales en ese aeropuerto son realizadas exclusivamente por aeronaves tipo jet, a diferencia de nuestro país que son realizadas por ambos tipos de aeronaves, dominando las del tipo jet.

El hecho de comparar a través de valores promedio en las emisiones española sugiere además un error considerable en la comparación de resultados. El valor más alejado corresponde a los hidrocarburos y el dióxido de carbono, siendo este último calculado en base al contenido de carbono en el combustible y a la tasa hidrógeno/carbono [8], por lo que era de esperarse que no hubiese una correlación significativa en este contaminante. En el caso de los hidrocarburos no quemados, este contaminante presenta una amplia variación en cuanto a las opciones por motor, según la Tabla 30, si comparamos las aeronaves más contaminantes (considerando que las naves pistón emiten más HC que las del tipo jet), correspondientes a la opción C, se obtiene un porcentaje del 63%, muy similar a la proporción que muestra el CO, ambos con comportamientos de emisión similares.

En el caso del NO<sub>x</sub>, está correcto que las emisiones nacionales estén muy por debajo de las emisiones en el aeropuerto de España, debido a la no existencia de aeronaves pistón en el aeropuerto español para actividades comerciales.

#### *Inventario Texas, EE.UU.*

Este estudio fue realizado para la Comisión de Calidad Medioambiental del Estado de Texas en EE.UU. El objetivo fue desarrollar un inventario de emisiones LTO para los aeropuertos de Texas en el año 2014 y una tendencia proyectada desde el 2008 hasta el 2040 [47]. La metodología de este estudio utiliza dos fuentes, un software desarrollado por la FAA, *Emissions and Dispersion Modeling System* (EDMS) cuando la data proporcionada por los aeropuertos es detallada y a la metodología de la EPA, cuando la data es más restringida [47]. Esta última metodología es homóloga a la europea utilizada en este estudio para el Nivel 2.

En el Estado de Texas en el año 2014 se efectuaron 6.371.175 operaciones de aterrizajes y despegues, sobrepasando a las actividades nacionales del año 2015 en un 94%. Sin embargo, las actividades de ese Estado presentan un 43% de participación de aeronaves tipo pistón y un 57% de participación de tipo jet [47], correspondiéndose de igual manera a las operaciones nacionales que las del inventario español presentado anteriormente (ver Tabla 14: Flota nacional por tipo de motor y porcentaje de participación). La diferencia fundamental con respecto a la flota de Texas es que este inventario contiene actividad militar y de helicópteros, además de cuantificar los tiempos de operación de taxi-in/out por aeropuerto, no con los tiempos estándar de la OACI.

Los resultados del año 2015 del inventario de Texas se adjuntan en la Tabla 32 a continuación. Se muestran los contaminantes VOC, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>2,5</sub> y SO<sub>2</sub> en toneladas por año, además de las operaciones efectuada en el año 2014, puesto que no se señalan las del 2015 en el informe. Se agregan también los resultados del inventario nacional y las operaciones realizadas, junto con el porcentaje relativo entre estudios.

Se puede notar la correspondencia similar en porcentaje entre las emisiones con respecto al porcentaje de operación. Esto se debe a la similitud en la actividad por tecnología en ambos inventarios, como se comentó anteriormente. El único contaminante que se desvía en relación a los demás es el NO<sub>x</sub>, mientras que el material particulado es menor en el estudio chileno.

Tabla 32: Resultados comparativos entre el inventario de Texas y el nacional para el año 2015 [47]

| Inventario | VOC<br>[ton/año] | NOx<br>[ton/año] | CO<br>[ton/año] | PM <sub>2,5</sub><br>[ton/año] | SO <sub>2</sub><br>[ton/año] | Operaciones |
|------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|-------------|
| Texas      | 2.826,18         | 8.965,67         | 33.826,24       | 591,63                         | 1.023,27                     | 6.371.175   |
| Chile      | 230,98           | 1.418,79         | 1.706,54        | 9,25                           | 85,42                        | 389.572     |
| % relativo | 8%               | 16%              | 5%              | 2%                             | 8%                           | 6%          |

En general, los resultados obtenidos de esta investigación comparados con las diversas formas y estudios presentados anteriormente, muestran rangos de comparación aceptables para el tipo de estudio aquí realizado, de carácter estimativo por esencia. Cada método de validación representaba un supuesto diferente, por lo que no se podían esperar valores precisos y exactos al compararlos con otros, donde las condiciones de evaluación y métodos de estimación eran distintos a los aquí calculados, a excepción de la validación de LTO con la EEA, puesto que esa fue la fuente de información utilizada, donde lógicamente los valores resultarían exactos al comparar.

La diferencia fundamental en la comparación del combustible vendido durante el año 2015 corresponde a la cantidad de información sobre motores disponibles para el cálculo, tanto en ciclo LTO como en CCD. Este déficit de información, genera una disminución en la cantidad de movimientos evaluados, lo que implica la obtención de valores subestimados para el combustible quemado en relación al combustible expendido, tanto para la gasolina como para el kerosene.

En relación a las diferencias con los estudios internacionales y nacionales se deben principalmente a los niveles de actividad, el tipo de metodología utilizada para la estimación de emisiones, la tecnología presente en las flotas evaluadas y la cantidad de información requerida para realizar los cálculos estimativos.

## Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones generales

Este estudio calcula los gases de efecto invernadero emitidos por el transporte aéreo en el país durante el año 2015. Esto se logra a través de la implementación de una metodología europea del tipo *bottom-up*, la cual utiliza como entradas para el cálculo parámetros sobre la actividad aérea nacional, factores de emisión por contaminante y fase de operación, además de una serie de supuestos sobre los tiempos de operación estándar en los aeródromos y motores asociados a ciertas aeronaves.

En términos de resultado, se obtienen las emisiones contaminantes en toneladas anuales, distribuidas por región, los principales aeródromos y aeropuertos nacionales, tipos de aeronaves y clasificaciones de motor. Durante el año 2015, el transporte aéreo a nivel nacional tiene asociada las emisiones de 1.707 toneladas de CO, 211 toneladas de HC, 1.419 toneladas de NOx; 9,25 toneladas de PM<sub>2,5</sub> y 320.224 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Con la información de las actividades de tráfico aéreo alojada en una extensa base de datos, se realiza un procesamiento previo de esta data con el objetivo de correlacionar la información con la metodología utilizada y además para segmentar de mejor manera la información allí incluida. Por ende, se genera un filtro en esta base, eliminando actividades militares, aterrizajes frustrados, aeronaves con motor turbohélice y movimientos de helicópteros, independiente del tipo de motor.

En cuanto a los factores de emisión, la metodología entrega estos valores por contaminante y fase de operación en ciclo LTO, de acuerdo al fabricante del motor. Se realiza entonces un trabajo exhaustivo al vincular todas las aeronaves por su tipo, número y categorías de motor con estos códigos de motor por fabricante, ambos designados por OACI. Con esto se logró identificar las aeronaves presentes en la bitácora de actividades, pudiendo segmentar en más categorías la información encontrada en la base de datos, como se mencionó anteriormente en el filtro de actividades.

### 4.2 Conclusiones específicas

Las metodologías internacionales para la estimación de emisiones aeroportuarias son detalladas por varias organizaciones, las que trabajan en conjunto para que los resultados de los inventarios sean de carácter transversal y puedan superponerse entre distintas regiones del mundo. Todas apuntan a separar las emisiones por altitud de operación, donde el ciclo LTO está definido por OACI hace un largo tiempo (1993), presentando factores de emisión por fabricante en este segmento también desde hace ya varios años, siendo reconocido a nivel mundial por las entidades aéreas.

La metodología para las emisiones aeroportuarias obtiene resultados representativos al considerar principalmente las actividades comerciales con grandes aeronaves, siendo estas las responsables de la mayor proporción de contaminantes emitidos a la atmósfera, debido a la tecnología de las naves y a la gran demanda que este sector presenta, además de la tendencia que presume para el futuro. Abarca también todos los modos de operación que se realizan de manera estándar en los

aeropuertos y aeródromos, cuantificando un gran porcentaje de las emisiones totales asociadas al transporte aéreo.

En el caso de Chile, no existen antecedentes metodológicos para la estimación de emisiones. Los inventarios que existen hasta ahora, todos utilizan metodologías internacionales para construirlos, independiente del sector que se esté evaluando.

En relación a las normativas que rigen este sector, todas son presentadas por OACI para las categorías de calidad del aire: ruido y las emisiones contaminantes. En el anexo 16 (volumen II) de esta organización se detallan las normativas que deben cumplir los motores aeronáuticos en cuanto a emisiones. Sin embargo, todas son aplicadas a las empresas manufactureras y operarias, correspondiendo a mediciones y estándares de calidad que deben cumplir los motores y no a limitaciones en polución, al igual que una Planta de Revisión Técnica en Chile.

Como en el país no se fabrican aeronaves, al igual que en el sector automotriz, los motores son homologados a normativa nacional para poder operar en el territorio o espacio aéreo. Esto implica que no existen regulaciones a las emisiones de la aeronáutica, solo medidas de certificación de ciertos parámetros de funcionamiento en relación a los factores de emisión.

Por tanto, este es uno de los grandes desafíos que esta industria debe implementar. Con los niveles de crecimiento que ha tenido la aeronáutica en Chile en el último tiempo, es casi inconcebible que las emisiones contaminantes no sean fiscalizadas y más aún, que Chile no sea parte de la estrategia CORSIA para la regulación de emisiones.

En cuanto a los resultados por emisión aeroportuaria, con el procesamiento realizado en la base de datos de actividades, se considera un universo de 389.572 movimientos en los 49 aeródromos/aeropuertos principales del país, dentro de la red primaria y secundaria, esto para los 241 tipos de aeronaves con posibilidad de ser analizadas. De la totalidad de movimientos, las naves con mayor participación son los modelos Airbus A320 con un 29%, el A319 con un 13% y el A321 con el 4,5%, mientras que los modelos pistón de la empresa Cessna participan el C172 con un 12% y el C150 con el 4% de los movimientos.

Según movimientos por región, la que más registra movimientos es sin duda la Metropolitana, con un 44,4%, seguida de la región de Valparaíso con un 11,5%, la región de Los Lagos con un 11%, la región del Bío-Bío con un 7% de movimientos, la región de Antofagasta con el 7,6% y la región de Tarapacá mostrando el 4%. Las nueve regiones restantes muestran un porcentaje acumulativo del 13,5% con respecto al total nacional.

La participación de movimientos por aeródromos pone en primer lugar al aeropuerto Arturo Merino Benítez con un 33% del total, principal aeropuerto del país. Lo siguen el aeródromo Eulogio Sánchez, presentando el 10%, Rodelillo con un 5,4%, Cerro Moreno el 5%, Diego Aracena el 4,3%, El Tepual y Carriel Sur con el 3,7%.

Los resultados de las emisiones por región son mostrados en la siguiente tabla para los contaminantes CO, NOx y CO2, todas en toneladas anuales y ordenadas de manera geográfica.

Tabla 33: Emisiones anuales de CO, NOx y CO2 distribuidas por región

| Región               | CO [ton/año]    | NOx [ton/año]   | CO2 [ton/año]     |
|----------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| XV – Arica           | 22,92           | 23,36           | 5.610,82          |
| I – Tarapacá         | 69,56           | 63,09           | 15.264,25         |
| II – Antofagasta     | 122,42          | 152,13          | 35.552,55         |
| III – Atacama        | 26,76           | 19,17           | 4.751,27          |
| IV – Coquimbo        | 38,84           | 30,37           | 7.573,95          |
| V – Valparaíso       | 132,03          | 13,68           | 3.282,50          |
| XIII – Metropolitana | 815,32          | 917,53          | 200.823,52        |
| VII – Maule          | 36,68           | 0,10            | 121,28            |
| VIII – Bío Bío       | 94,12           | 37,84           | 9.129,83          |
| IX – La Araucanía    | 28,27           | 22,10           | 5.354,04          |
| XIV – Los Ríos       | 7,57            | 6,27            | 1.595,65          |
| X – Los Lagos        | 196,10          | 100,12          | 23.289,87         |
| XI – Aysén           | 29,93           | 0,10            | 102,63            |
| XII – Magallanes     | 86,04           | 32,91           | 7.772,27          |
| <b>Total</b>         | <b>1.706,54</b> | <b>1.418,79</b> | <b>320.224,43</b> |

De esta tabla se desprende la conclusión directa de que la región líder en emisiones LTO corresponde a la región Metropolitana. Luego se encuentra la región de Antofagasta, seguida muy de cerca por la región de Los Lagos. En términos porcentuales RM emite el 47,8% del CO, el 64,7% del NOx y el 62,7% del CO2, por lo que esta región por sí sola representa más de la mitad de las emisiones aeroportuarias a nivel nacional.

Al comparar los resultados presentados en la Tabla 30 con los porcentajes participativos en relación a los movimientos aéreas, es posible apreciar que la demanda no siempre se corresponde con las emisiones atmosféricas, excluyendo por supuesto a RM, ya que su nivel de actividad es muy superior al resto del país. Según lo indicado anteriormente, la región de Valparaíso y Los Lagos son las regiones con mayores movimientos registrados, seguidas de la región de Antofagasta y Tarapacá. Sin embargo, según la tabla anterior, Antofagasta y Los Lagos emiten considerablemente más NOx y CO2 que Valparaíso, al igual que el CO, aunque en menor medida que los contaminantes anteriores. Aquí se concluye que además del nivel de actividad, el tipo de flota es fundamental para la determinación de emisiones, pues las regiones comerciales con aeronaves tipo Jet son las mayores emisoras de NOx y CO2, mientras que las aeronaves tipo pistón, utilizadas en actividades de transporte particular, recreacional o de instrucción, emiten una mayor cantidad de CO en ciclo LTO.

Por otro lado, las aeronaves que más emisiones de CO presentan en Chile durante el 2015, corresponden a los modelos tipo jet: A320 con el 27%, A319 emite el 13,6% y el modelo Boeing B763 emite el 7,8%. A estos modelos le siguen las naves pistón C172 con el 5,2%, PA31 con un 4,2% y finalmente el C402 con el 3%. En el caso del NOx, las aeronaves más contaminantes del país son todas con motor jet: A320 se adjudica el 44,5%, A319 el 13%, A321 emite el 10,6%, B763 el 8,4%, B772 participa en un 4,8% y el modelo B788 emite el 3,7%. El comportamiento del NOx con respecto al CO2 es muy similar, ya que las naves descritas corresponden también a las principales emisoras de CO2 en el país en el año 2015.

Todos estos porcentajes se resumen en la Figura 34 presentada a continuación, segmentando las aeronaves por tipo de motor. Los contaminantes CO y NOx se expresan en toneladas anuales, mientras que el CO2 se mide en miles de toneladas al año.

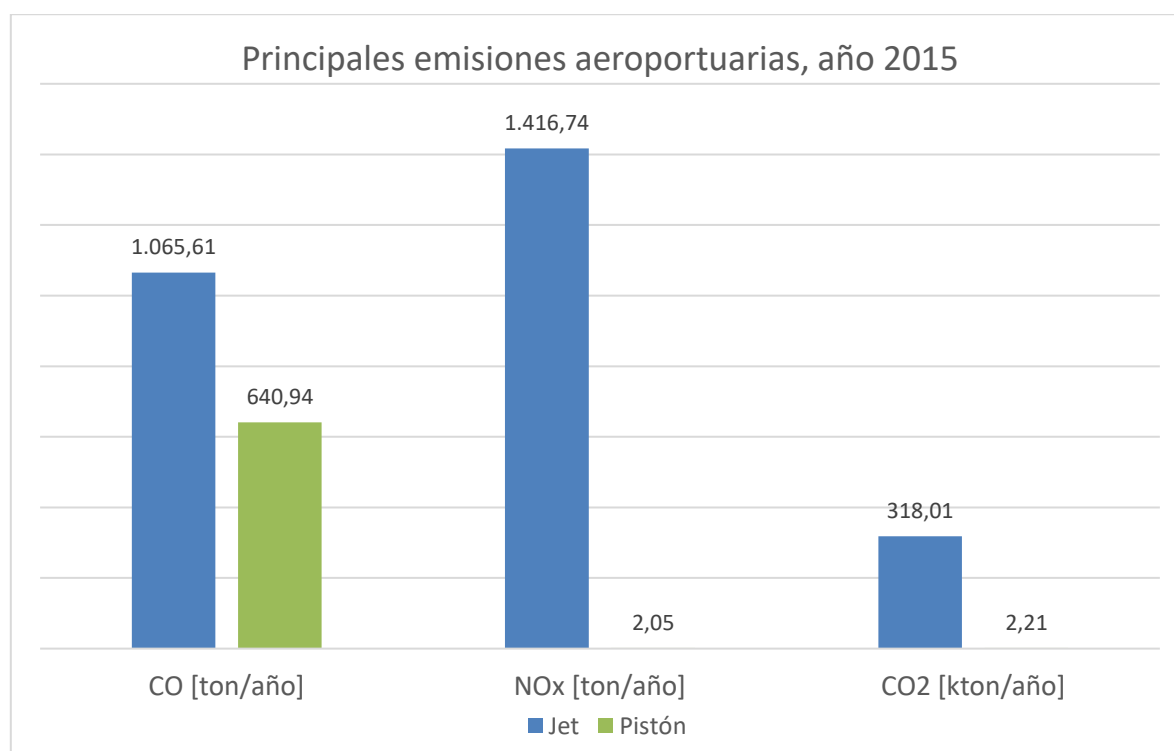


**Figura 34: Principales emisiones aeroportuarias anuales por tipo de aeronave, año 2015**

Se concluye entonces que las aeronaves jet son las principales emisoras de los principales contaminantes atmosféricos derivados del tráfico aéreo en el país. Además, se distingue la emisión de monóxido de carbono de las aeronaves con motor pistón, con un 37% del total nacional, visualizando además su gran participación en las actividades aeronáuticas nacionales para lograr llegar a esos niveles de emisión. Estas naves contribuyen en menos del 1% del NOx y el CO2 nacionales, comportándose de manera inversa a las naves equipadas con motor jet.

Como el principal contaminante en el país corresponde al CO2, por orden de magnitud, este se grafica en el mapa físico de AMB para concluir visualmente las emisiones proporcionadas por aeronaves y las dos rutas aéreas que existen en ese aeropuerto, norte y sur, cada una con el 57% y

43% de los movimientos, respectivamente, según las aeronaves que fueron seleccionadas para la confección del mapa: A320, A319, A321 y B763. Las principales emisiones son hacia la ruta norte, con el 59% de las emisiones, mientras que la ruta sur emite el 41% restante.

En el caso de las emisiones CCD, estas tienen un comportamiento muy similar a las emisiones en LTO, pero con órdenes de magnitud muchísimo más elevados a causa por supuesto de la distancia recorrida. A excepción del NOx, el cual presenta una proporción de casi el 30% en crucero y menos del 1% en LTO, debido a las configuraciones del motor en esta fase, requiriendo altas temperaturas por un periodo muy prolongado, y por consiguiente se eleva su emisión.

Por último, con respecto a la validación de los resultados de este trabajo al compararlos con estudios internacionales, nacionales y por medio del consumo de combustible, se concluye que los valores propios se encuentran dentro de un rango aceptable. En el caso de los estudios internacionales, las emisiones se correlacionan de una manera esperada, en particular con el inventario de Texas. En relación al consumo de combustible, para el kerosene de aviación la comparación muestra una correlación muy significativa, mientras que la gasolina de aviación es deficiente, tanto en ciclo LTO como en trayectoria completa. Los LTOs por su parte, se concluye que el procedimiento de cálculo es exitoso, corroborando esto con las dos organizaciones internacionales que publican estos valores.

Se concluye de la validación que las diferencias entre los resultados de los estudios internacionales y nacionales se deben principalmente a:

- Diferencias en los niveles de actividad aérea.
- Diferencias en la metodología utilizada para estimar emisiones, caso del estudio nacional, pues este trabajo se basa en la metodología internacional de IPCC, mientras que la DGAC utiliza un software norteamericano.
- Diferencias en el tipo de tecnología en las flotas estudiadas, tanto para los estudios internacionales y nacionales.
- Diferencias en los parámetros de entrada requeridos, específicamente en la duración de los modos de operación en cada aeródromo.

Finalmente, se concluye que la diferencia fundamental en la comparación en base al combustible vendido en Chile el año 2015 corresponden a la cantidad de información sobre motores disponibles para el cálculo, lo cual se puede ver reflejado en que valores siempre subestimados comparándolos con el combustible expendido en el caso de los dos tipos de combustibles, gasolina y kerosene de aviación.

### 4.3 Recomendaciones

La primera recomendación para la estimación de las actividades aeroportuarias es, lógicamente, utilizar un enfoque con nivel más elevado, Tier 3B, para lograr resultados más precisos y exactos. Esto presupone esfuerzos considerables por parte de las autoridades en los requerimientos de información de las empresas operadoras y además por la entidad que realice el inventario.

Siguiendo con la metodología, uno de los parámetros más importante para estimar las emisiones aeroportuarias con el enfoque utilizado en este estudio corresponde a los factores de emisión por tecnología de aeronaves. Para lograr obtener esta información de manera precisa, la data por código de motor en las bitácoras de actividades de la DGAC podría estar disponible, logrando obtener el dato directo del nivel de actividad y no a partir de supuestos. Este es un desafío importante para la autoridad aérea (JAC y DGAC), pero que beneficiaría a la contabilización de emisiones de manera considerable.

Otro parámetro importante que no se encuentra disponible, al menos a nivel público, es el tiempo real en operaciones en cada aeródromo/aeropuerto del país. Con este dato se logra evitar la utilización de los tiempos estándar de la OACI en ciclo LTO, puesto que no son representativos en un 100% de las operaciones reales de un aeropuerto, en particular para el taxi-in/out, tal como lo hacen los aeropuertos en la Unión Europea y en EE.UU.

En el caso de la fase crucero, es conveniente incluir el tiempo de vuelo en el que fue efectuada la operación, puesto que este dato sugiere mayor exactitud en la emisión del contaminante durante la trayectoria, en vez de aproximar por distancia lineal entre los aeródromos origen/destino. Se debe considerar que las emisiones en trayectoria son mucho mayores a las emitidas en LTO, por lo que estimar de manera exacta en esta fase conduce directamente a emisiones más realistas.

De la misma forma, otra fuente que conlleva a desviaciones en los resultados de este estudio es el procesamiento de la información disponible en relación a los factores de emisión de la metodología. El hecho de suponer la tecnología de muchas aeronaves tipo pistón y no considerar la totalidad de actividades de naves turbohélice, conduce a resultados subestimados, ya que el país utiliza fuertemente estas dos categorías de aeronaves. Los motores tipo pistón son recreacionales y particulares, mientras que las naves turbohélice son utilizadas principalmente para vuelos interregionales, muy comunes en la zona sur del país por su reconocida geografía de archipiélagos y canales.

Por lo tanto, se recomienda obtener información más detallada para los factores de emisión de las naves pistón y, además, obtener el listado de factores de emisión para las aeronaves turbohélice, los que se encuentran confidenciales por la FOI, la agencia de investigación para la defensa sueca, lo que podría lograrse con acuerdos gubernamentales.

Así mismo, se recomienda incluir las emisiones por actividad de helicópteros, así como todas las fuentes de emisión externas a la actividad aérea, tales como las unidades de potencia auxiliar, el movimiento terrestre en las pistas del aeropuerto, mantenimiento, entre otras. Esto conlleva a

estimar de una manera mucho más real la cantidad de polución que se encuentra circundante al aeropuerto en cuestión.

En relación a la información pública requerida para la validación de resultados, es necesario que las instituciones Servicio Nacional de Aduanas y Comisión Nacional de Energía trabajen de manera conjunta y coordinada en cuanto a la exportación de combustible líquidos, en especial para la aviación, con el fin de generar información coherente en los inventarios de emisiones, respecto de las directrices internacionales, es decir, emisiones segregadas en nacionales e internacionales. Esta recomendación es válida para la mayoría de los sectores relacionados a la energía.

Por último, es altamente recomendable que el Estado de Chile regularice las emisiones contaminantes de las aeronaves operarias en el país, primero siguiendo los estándares de OACI en relación a la medición de las emisiones atmosféricas, y posteriormente uniéndose voluntariamente a la estrategia de abatimiento de CO<sub>2</sub>, CORSIA, siendo consecuentes con el acuerdo de París del cual Chile sí es parte.

## Bibliografía

- [1] IPCC, «Cambio Climático 2014,» IPCC, Ginebra, 2015.
- [2] Ministerio del Medio Ambiente, «Segundo Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2013.,» Santiago, Chile, 2017.
- [3] Ministerio de Medio Ambiente, «Tercer Reporte del Estado del Medio Ambiente,» Santiago, 2017.
- [4] Ministerio de Medio Ambiente, «Primer Reporte del Estado del Medio Ambiente,» Ministerio de Medio Ambiente, 2011.
- [5] Ministerio de Medio Ambiente, *Guía para docentes sobre calidad del aire*, santiago: MMA, 2015.
- [6] IPCC, «2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Introduction,» Institute for Global Environmental Strategies , Hayama, 2006.
- [7] IEA, «CO2 emissions from fuel combustion Highlights,» IEA, 2017.
- [8] L. U. Marcano, *Estimación de emisiones de los ciclos de aterrizajes y despegues de aeronaves en el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas*, Madrid, 2018.
- [9] EEA, «1.A.3.a Aviation 2016,» Luxembourg, 2016.
- [10] JAC, «Anuario 2015 de transporte aéreo,» Junta Aeronáutica Civil, Santiago, 2015.
- [11] qualimet, «Estudio "Estimación de Demanda por Transporte Aéreo Nacional e Internacional en Chile",» Santiago, 2013.
- [12] NASA, «Jet Aircraft Engine Exhaust Emissions Database Development - Year 1990 and 2005 Scenarios,» NASA, Long Beach, California, 1994.
- [13] Universidad Politécnica de Madrid, «ETSI Aeronáuticos UPM,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.aero.upm.es/departamentos/economia/investiga/Informe%202007/46Motores.html>. [Último acceso: 17 setiembre 2018].
- [14] Academic, «esacademic,» Wikipedia, 2017. [En línea]. Available: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/1175098>. [Último acceso: 20 septiembre 2018].

- [15 BangaloreAviation, «BangaloreAviation,» [En línea]. Available:  
] <https://www.bangaloreaviation.com/2017/01/analysis-pw1100-gtf-engine-airbus-a320neo.html>. [Último acceso: 20 septiembre 2018].
- [16 A. G. Rivas, «Kimerius Aircraft,» [En línea]. Available:  
] [kimerius.com/app/download/5780664525/Rendimiento+del+motor.pdf](http://kimerius.com/app/download/5780664525/Rendimiento+del+motor.pdf). [Último acceso: 16 septiembre 2018].
- [17 FAA, «Aircraft fuel system,» de *The Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2*, Oklahoma, US Department transportation, 2012.
- [18 Shell, «Shell Global,» [En línea]. Available: [https://www.shell.com/business-](https://www.shell.com/business-customers/aviation/aviation-fuel/avgas.html)  
] [customers/aviation/aviation-fuel/avgas.html](https://www.shell.com/business-customers/aviation/aviation-fuel/avgas.html). [Último acceso: 27 septiembre 2018].
- [19 Shell, «Shell Global,» [En línea]. Available: [https://www.shell.com/business-](https://www.shell.com/business-customers/aviation/aviation-fuel/civil-jet-fuel-grades.html)  
] [customers/aviation/aviation-fuel/civil-jet-fuel-grades.html](https://www.shell.com/business-customers/aviation/aviation-fuel/civil-jet-fuel-grades.html). [Último acceso: 27 septiembre 2018].
- [20 U.S. Department of Transportation, «transportation.gov,» 30 marzo 2017. [En línea]. Available:  
] [https://www.transportation.gov/sustainability/climate/transportation-ghg-emissions-and-](https://www.transportation.gov/sustainability/climate/transportation-ghg-emissions-and-trends)  
] [trends](https://www.transportation.gov/sustainability/climate/transportation-ghg-emissions-and-trends). [Último acceso: 2 agosto 2018].
- [21 EEA, «EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook,» 2002. [En línea]. Available:  
] <https://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3/B851vs2.4.pdf>. [Último acceso: 2 enero 2018].
- [22 EPA, «epa gov,» 27 septiembre 2016. [En línea]. Available: [https://www.epa.gov/air-](https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification)  
] [emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-](https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification)  
] [quantification](https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification). [Último acceso: 27 julio 2018].
- [23 IPCC, «2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 Energy - Chapter 3 Mobile combustion,» Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, 2006.
- [24 Dirección de Aeropuertos, «aeropuertos,» [En línea]. Available:  
] <http://www.aeropuertos.gov.cl/redeaeroportuaria/Paginas/default.aspx>. [Último acceso: 9 abril 2018].
- [25 DGAC, «DGAC,» 31 agosto 2015. [En línea]. Available:  
] <https://www.dgac.gob.cl/aeropuertos/red-aeroportuaria-nacional/>. [Último acceso: 9 abril 2018].

- [26 Junta de Aeronáutica Civil, «jac.gob,» 2018. [En línea]. Available:  
] <http://www.jac.gob.cl/informes-del-numero-de-operaciones-realizadas-en-los-aeropuertos-y-aerodromos-de-chile/>. [Último acceso: 3 julio 2018].
- [27 JAC, «Junta de Aeronáutica Civil,» [En línea]. Available: <http://www.jac.gob.cl/instructivo-para-la-notificacion-de-las-estadisticas-de-trafico-aereo-a-la-junta-de-aeronautica-civil/>.  
] [Último acceso: 2018 septiembre 21].
- [28 DGAC, «Actualización memoria de cálculo de emisiones Aeropuerto Arturo Merino Benitez,  
] año 2015,» DGAC, Santiago, 2015.
- [29 MAPS Chile, «Resultados de Fase 2,» 2014.  
]
- [30 MAPS Chile, «Escenario Referenciales para la Mitigación del Cambio Climático Resultados de  
] la fase 1,» 2013.
- [31 Sistemas Sutentables, «Desarrollo y Aplicación de una Metodología Local de Cálculo de Emisión  
] Bunker para Gases de Efecto Invernadero,» Santiago, 2009.
- [32 OACI, «Emisiones de los motores de las aeronaves Volumen II,» de *Protección del medio  
] ambiente*, 2008.
- [33 OACI, «Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation,» [En línea].  
] Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>.  
] [Último acceso: 1 octubre 2018].
- [34 DGAC, «Gestión Ambiental DGAC,» 2018. [En línea]. Available:  
] <https://www.dgac.gob.cl/aeropuertos/monitoreo-ruido-amb/>. [Último acceso: 1 octubre  
] 2018].
- [35 DGAC, «Informe Anual de Niveles de Ruido Aeropuerto AMB 2016,» Santiago, 2016.  
]
- [36 EEA, «EEA europa,» 30 septiembre 2016. [En línea]. Available:  
] <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. [Último acceso: 27 julio  
] 2018].
- [37 EUROCONTROL, «Advanced Emission Model (AEM3) v1.5,» EUROCONTROL, 2004.  
]
- [38 EEA, «1.A.3.a Aviation 2013,» Luxembourg, 2013.  
]

- [39 Civil Aviation Authority, «Definition of overflight,» Sussex, 2017.  
]
- [40 JAC, «jac.gov,» JAC, [En línea]. Available: <http://www.jac.gob.cl/formulario-de-taxis-y-trabajos-aereos/>. [Último acceso: 1 agosto 2018].
- [41 IFIS, «aipchile,» IFIS, 2018. [En línea]. Available: <https://www.aipchile.gob.cl/symfony/map#/>. [Último acceso: 29 septiembre 2018].
- [42 Comisión Nacional de Energía, «Energía abierta,» CNE, [En línea]. Available: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/combustibles-por-region/>. [Último acceso: 12 agosto 2018].
- [43 Comisión Nacional de Energía, «CNE,» [En línea]. Available: <https://www.cne.cl/estadisticas/hidrocarburo/>. [Último acceso: 2018].
- [44 aena, «aena,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.aena.es/csee/ccurl/337/687/Definitivos-2015.pdf>. [Último acceso: 1 octubre 2018].
- [45 aena, «aena,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.aena.es/csee/Satellite?c=Page&cid=1113582476715&pagename=Estadisticas%2FEstadisticas>. [Último acceso: 2 octubre 2018].
- [46 Aena, «Aena,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.aena.es/es/corporativa/perfil-compania.html>. [Último acceso: 2 octubre 2018].
- [47 Texas Commisision on Environmental Quality - Air Quality Division, *Aircraft Emissions Inventory for Texas Statewide 2014 AERR Inventory and 2008 to 2040 Trend Analysis Years*, Austin, 2016.
- [48 DGAC, *Operaciones de Aeronaves*, Santiago, 2002.  
]
- [49 DGAC, «DGAC,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.dgac.gob.cl/aeropuertos/monitoreo-ruido-amb/>. [Último acceso: 1 Diciembre 2017].
- [50 IPCC, «La aviación y la atmósfera global,» IPCC, 1999.  
]
- [51 EUROCONTROL, «Advanced Emission Model,» 19 mayo 2009. [En línea]. Available: [https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard\\_page/ETN\\_2009\\_1\\_ENV.html](https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/ETN_2009_1_ENV.html). [Último acceso: 31 Julio 2018].

- [52 U. C. d. Chile, «Centro UC Cambio Global,» 2017. [En línea]. Available:  
] <https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/recursos/glosario/convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico-cmnucc>. [Último acceso: 2 Agosto 2018].
- [53 L. d. F. U. C. Santiago, «Análisis y Teoría del Error Experimental: Anexo C: Introducción Gráfica,»  
] UTFSM, Santiago, 2018.
- [54 M. T. Gutiérrez-Escajeda, P. Medellín-Milán, J. A. Avalos-Lozano y A. Ávila-Galarza, *El enfoque bottom-up y el control de calidad: imprescindibles en el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector industrial en San Luis Potosí, Mexico*, 2014.
- [55 Wikipedia, «Wikipedia,» 3 septiembre 2018. [En línea]. Available:  
] [https://es.wikipedia.org/wiki/Asociaci%C3%B3n\\_Internacional\\_de\\_Transporte\\_A%C3%A9reo](https://es.wikipedia.org/wiki/Asociaci%C3%B3n_Internacional_de_Transporte_A%C3%A9reo). [Último acceso: 20 septiembre 2018].
- [56 Wikipedia, «Wikipedia,» 30 abril 2018. [En línea]. Available:  
] <https://es.wikipedia.org/wiki/Ralent%C3%AD>. [Último acceso: 27 septiembre 2018].

## Anexos

### Anexo 1 – Emisiones no consideradas **BUSCAR REFERENCIA**

Las emisiones no consideradas en este estudio corresponden a las emisiones contaminantes por actividad que no se encuentra incluida en los actuales códigos SNAP, (acrónimo para *Selected Nomenclature for Air Pollution*). Estas actividades tienen relación a las operaciones con el avión inactivo. Por ejemplo:

- Alimentación y manejo de combustible en general (SNAP 050402).
- Mantenimiento de motores de aeronaves (SNAP 060204).
- Pintura de aeronaves (SNAP 060108).
- Vehículos de servicio de catering y otros servicios (SNAP 0808).

### Anexo 2 – Actividades Aéreas

Todas las actividades relacionadas a los movimientos de vuelo pueden agruparse como se muestra continuación [9]:

- Actividades previas a la salida
- Actividades de salida
- Actividades CCD
- Actividades de emergencia
- Actividades de llegada
- Actividades posteriores a la llegada
- Actividades de mantenimiento

### Anexo 3 – Aeródromos nacionales y total de operaciones

Tabla 34: Estadística de operaciones informadas por la JAC por aeródromos y aeropuertos [26]

| AEROPUERTO/AERÓDR OMO |                          | NACIONALES |          |        | INTERNACIONALES |          |       | TOTALES  |          |        |
|-----------------------|--------------------------|------------|----------|--------|-----------------|----------|-------|----------|----------|--------|
| OACI                  | Nombre                   | 1er sem.   | 2do sem. | Total  | 1er sem.        | 2do sem. | Total | 1er sem. | 2do sem. | Total  |
| SCAP                  | Alto Palena              | 698        | 35       | 733    | 0               | 0        | 0     | 698      | 35       | 733    |
| SCAR                  | Chacalluta               | 2.935      | 2.332    | 5.267  | 292             | 119      | 411   | 3.227    | 2.451    | 5.678  |
| SCAS                  | Cabo 1° Juan Román       | 130        | 197      | 327    | 0               | 0        | 0     | 130      | 197      | 327    |
| SCAT                  | Desierto de Atacama      | 4.106      | 2.951    | 7.057  | 28              | 3        | 31    | 4.134    | 2.954    | 7.088  |
| SCBA                  | Balmaceda                | 1.879      | 1.962    | 3.841  | 10              | 13       | 23    | 1.889    | 1.975    | 3.864  |
| SCCC                  | Chile Chico              | 62         | 59       | 121    | 0               | 0        | 0     | 62       | 59       | 121    |
| SCCF                  | El Loa                   | 5.303      | 5.319    | 10.622 | 52              | 25       | 77    | 5.355    | 5.344    | 10.699 |
| SCCH                  | Gral. Bernardo O'Higgins | 8.263      | 4.078    | 12.341 | 8               | 4        | 12    | 8.271    | 4.082    | 12.353 |

|             |                             |        |        |               |        |        |               |        |        |                |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|----------------|
| <b>SCCI</b> | Pdte. Carlos I. Del Campo   | 8.537  | 8.729  | <b>17.266</b> | 157    | 132    | <b>289</b>    | 8.694  | 8.861  | <b>17.555</b>  |
| <b>SCCV</b> | Curacaví                    | 1.893  | 2.233  | <b>4.126</b>  | 0      | 0      | <b>0</b>      | 1.893  | 2.233  | <b>4.126</b>   |
| <b>SCCY</b> | Teniente Vidal              | 1.855  | 2.416  | <b>4.271</b>  | 0      | 0      | <b>0</b>      | 1.855  | 2.416  | <b>4.271</b>   |
| <b>SCDA</b> | Diego Aracena               | 15.751 | 17.597 | <b>33.348</b> | 955    | 927    | <b>1.882</b>  | 16.706 | 18.524 | <b>35.230</b>  |
| <b>SCEL</b> | Arturo Merino Benítez       | 40.975 | 42.129 | <b>83.104</b> | 28.697 | 30.637 | <b>59.334</b> | 69.672 | 72.766 | <b>142.438</b> |
| <b>SCES</b> | Ricardo García Posada       | 460    | 225    | <b>685</b>    | 0      | 0      | <b>0</b>      | 460    | 225    | <b>685</b>     |
| <b>SCFA</b> | Cerro Moreno                | 13.230 | 13.683 | <b>26.913</b> | 81     | 67     | <b>148</b>    | 13.311 | 13.750 | <b>27.061</b>  |
| <b>SCFM</b> | Capitán Fuentes Martínez    | 1.201  | 1.225  | <b>2.426</b>  | 0      | 0      | <b>0</b>      | 1.201  | 1.225  | <b>2.426</b>   |
| <b>SCFT</b> | Futaleufú                   | 149    | 96     | <b>245</b>    | 0      | 0      | <b>0</b>      | 149    | 96     | <b>245</b>     |
| <b>SCGE</b> | María Dolores               | 2.668  | 1.567  | <b>4.235</b>  | 1      | 0      | <b>1</b>      | 2.669  | 1.567  | <b>4.236</b>   |
| <b>SCGZ</b> | Guardiamarina Zañartu       | 1.216  | 1.058  | <b>2.274</b>  | 120    | 26     | <b>146</b>    | 1.336  | 1.084  | <b>2.420</b>   |
| <b>SCHR</b> | Cochrane                    | 188    | 126    | <b>314</b>    | 0      | 0      | <b>0</b>      | 188    | 126    | <b>314</b>     |
| <b>SCIC</b> | Genera Freire               | 1.314  | 1.858  | <b>3.172</b>  | 0      | 0      | <b>0</b>      | 1.314  | 1.858  | <b>3.172</b>   |
| <b>SCIE</b> | Carriel Sur                 | 11.132 | 8.320  | <b>19.452</b> | 40     | 30     | <b>70</b>     | 11.172 | 8.350  | <b>19.522</b>  |
| <b>SCIP</b> | Mataverí                    | 613    | 775    | <b>1.388</b>  | 77     | 87     | <b>164</b>    | 690    | 862    | <b>1.552</b>   |
| <b>SCIR</b> | Robinson Crusoe             | 464    | 380    | <b>844</b>    | 0      | 0      | <b>0</b>      | 464    | 380    | <b>844</b>     |
| <b>SCJO</b> | Cañal Bajo – Carlos Hott S. | 3.237  | 2.973  | <b>6.210</b>  | 0      | 0      | <b>0</b>      | 3.237  | 2.973  | <b>6.210</b>   |
| <b>SCLC</b> | Municipal De Vitacura       | S/I    | 334    | <b>334</b>    | S/I    | 0      | <b>0</b>      | S/I    | 334    | <b>334</b>     |
| <b>SCLL</b> | Vallenar                    | 375    | 329    | <b>704</b>    | 0      | 0      | <b>0</b>      | 375    | 329    | <b>704</b>     |
| <b>SCMK</b> | Melinka                     | 2.604  | 2.578  | <b>5.182</b>  | 0      | 0      | <b>0</b>      | 2.604  | 2.578  | <b>5.182</b>   |
| <b>SCNC</b> | Santa Barbara Ruta 7        | 230    | N/O    | <b>230</b>    | 0      | N/O    | <b>0</b>      | 230    | N/O    | <b>230</b>     |
| <b>SCNT</b> | Tte. Julio Gallardo         | 205    | 145    | <b>350</b>    | 15     | 0      | <b>15</b>     | 220    | 145    | <b>365</b>     |
| <b>SCON</b> | Quellón                     | 522    | 444    | <b>966</b>    | 0      | 0      | <b>0</b>      | 522    | 444    | <b>966</b>     |
| <b>SCPC</b> | Pucón                       | 51     | S/I    | <b>51</b>     | 23     | S/I    | <b>23</b>     | 74     | S/I    | <b>74</b>      |
| <b>SCPF</b> | Marcel Marchant             | 9.700  | 9.661  | <b>19.361</b> | 0      | 0      | <b>0</b>      | 9.700  | 9.661  | <b>19.361</b>  |
| <b>SCPQ</b> | Mocopulli                   | 706    | 675    | <b>1.381</b>  | 0      | 2      | <b>2</b>      | 706    | 677    | <b>1.383</b>   |
| <b>SCQP</b> | La Araucanía                | 4.292  | 3.995  | <b>8.287</b>  | 28     | 23     | <b>51</b>     | 4.320  | 4.018  | <b>8.338</b>   |
| <b>SCRD</b> | Rodelillo                   | 9.352  | 8.104  | <b>17.456</b> | 0      | 0      | <b>0</b>      | 9.352  | 8.104  | <b>17.456</b>  |
| <b>SCRM</b> | Tte. Rodolfo Marsh M.       | 623    | 603    | <b>1.226</b>  | 24     | 8      | <b>32</b>     | 647    | 611    | <b>1.258</b>   |
| <b>SCSE</b> | La Florida                  | 7.145  | 6.527  | <b>13.672</b> | 51     | 7      | <b>58</b>     | 7.196  | 6.534  | <b>13.730</b>  |
| <b>SCSN</b> | Santo Domingo               | 5.677  | 7.506  | <b>13.183</b> | 0      | 0      | <b>0</b>      | 5.677  | 7.506  | <b>13.183</b>  |
| <b>SCTB</b> | Eulogio Sánchez             | 25.682 | 23.941 | <b>49.623</b> | 7      | 0      | <b>7</b>      | 25.689 | 23.941 | <b>49.630</b>  |
| <b>SCTE</b> | El Tepual                   | 11.576 | 10.944 | <b>22.520</b> | 60     | 35     | <b>95</b>     | 11.636 | 10.979 | <b>22.615</b>  |
| <b>SCTN</b> | Nuevo Chaitén               | 1.318  | 1.431  | <b>2.749</b>  | 0      | 0      | <b>0</b>      | 1.318  | 1.431  | <b>2.749</b>   |

|              |              |                |                |                |               |               |               |                |                |                |
|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>SCVD</b>  | Pichoy       | 958            | 950            | <b>1.908</b>   | 0             | 0             | 0             | 958            | 950            | <b>1.908</b>   |
| <b>SCVM</b>  | Viña del Mar | 14.279         | 13.845         | <b>28.124</b>  | 43            | 25            | <b>68</b>     | 14.322         | 13.870         | <b>28.192</b>  |
| <b>TOTAL</b> |              | <b>223.554</b> | <b>214.335</b> | <b>437.889</b> | <b>30.769</b> | <b>32.170</b> | <b>62.939</b> | <b>254.323</b> | <b>246.505</b> | <b>500.828</b> |

**Tabla 35: Número de LTOs por aeronave, segregados en Internacional y nacional. Las naves marcadas con celeste corresponden a las utilizadas en este estudio**

| Tipo Nave   | LTO Internacional | LTO Nacional | Total   | Tipo Nave   | LTO Internacional | LTO Nacional | Total |
|-------------|-------------------|--------------|---------|-------------|-------------------|--------------|-------|
| <b>A320</b> | 19.919            | 92.003       | 111.922 | <b>LNCE</b> |                   | 98           | 98    |
| <b>A319</b> | 10.115            | 38.918       | 49.033  | <b>AS65</b> |                   | 98           | 98    |
| <b>C172</b> | 21                | 49.003       | 49.024  | <b>C750</b> | 49                | 42           | 91    |
| <b>A321</b> | 831               | 16.642       | 17.473  | <b>C82S</b> | 1                 | 89           | 90    |
| <b>C150</b> |                   | 13.584       | 13.584  | <b>TBM8</b> | 12                | 78           | 90    |
| <b>PA31</b> | 7                 | 11.800       | 11.807  | <b>GLF4</b> | 67                | 22           | 89    |
| <b>P28A</b> |                   | 11.600       | 11.600  | <b>AT3T</b> | 1                 | 87           | 88    |
| <b>PA28</b> | 96                | 9.788        | 9.884   | <b>PA22</b> |                   | 88           | 88    |
| <b>C182</b> | 8                 | 9.329        | 9.337   | <b>B58</b>  |                   | 87           | 87    |
| <b>B763</b> | 8.113             | 859          | 8.972   | <b>B762</b> | 86                |              | 86    |
| <b>C152</b> |                   | 8.454        | 8.454   | <b>CH70</b> |                   | 84           | 84    |
| <b>C208</b> | 11                | 7.527        | 7.538   | <b>182J</b> |                   | 81           | 81    |
| <b>B788</b> | 5.763             | 367          | 6.130   | <b>BELL</b> |                   | 70           | 70    |
| <b>DHC6</b> | 34                | 5.218        | 5.252   | <b>GS2</b>  |                   | 68           | 68    |
| <b>B738</b> | 4.982             | 1            | 4.983   | <b>DC3</b>  | 18                | 50           | 68    |
| <b>AS50</b> | 25                | 4.520        | 4.545   | <b>BE58</b> | 3                 | 63           | 66    |
| <b>AT8T</b> | 47                | 4.214        | 4.261   | <b>A600</b> |                   | 66           | 66    |
| <b>C206</b> | 9                 | 3.882        | 3.891   | <b>D28D</b> |                   | 64           | 64    |
| <b>C402</b> |                   | 3.715        | 3.715   | <b>B752</b> | 59                | 5            | 64    |
| <b>R44</b>  | 38                | 3.501        | 3.539   | <b>MX15</b> |                   | 63           | 63    |
| <b>M18</b>  |                   | 3.352        | 3.352   | <b>SCII</b> |                   | 61           | 61    |
| <b>E190</b> | 3.203             |              | 3.203   | <b>ULAC</b> |                   | 60           | 60    |
| <b>PAY2</b> | 7                 | 2.956        | 2.963   | <b>SONX</b> |                   | 60           | 60    |
| <b>BN2B</b> |                   | 2.847        | 2.847   | <b>PA27</b> |                   | 60           | 60    |
| <b>PA18</b> |                   | 2.595        | 2.595   | <b>B77L</b> | 60                |              | 60    |
| <b>PA38</b> |                   | 2.525        | 2.525   | <b>ASTR</b> | 36                | 24           | 60    |
| <b>BE20</b> | 59                | 2.298        | 2.357   | <b>DHC7</b> | 5                 | 53           | 58    |
| <b>D228</b> | 1                 | 2.336        | 2.337   | <b>PLAN</b> |                   | 56           | 56    |
| <b>C210</b> | 8                 | 2.252        | 2.260   | <b>PC11</b> |                   | 56           | 56    |
| <b>B772</b> | 2.208             |              | 2.208   | <b>LJ45</b> | 43                | 12           | 55    |

|      |       |       |       |      |    |    |    |
|------|-------|-------|-------|------|----|----|----|
| B200 | 46    | 2.095 | 2.141 | SW4  | 16 | 38 | 54 |
| B773 | 1.836 |       | 1.836 | IL76 | 5  | 45 | 50 |
| DA20 |       | 1.811 | 1.811 | GALX | 39 | 8  | 47 |
| B789 | 1.404 | 351   | 1.755 | J3   |    | 47 | 47 |
| SR22 | 50    | 1.685 | 1.735 | C560 | 40 | 6  | 46 |
| C303 | 2     | 1.669 | 1.671 | RALL |    | 46 | 46 |
| B407 | 7     | 1.608 | 1.615 | FA7X | 37 | 8  | 45 |
| C550 | 81    | 1.423 | 1.504 | VENT | 2  | 42 | 44 |
| BE35 | 4     | 1.394 | 1.398 | LJ35 | 37 | 7  | 44 |
| RV9  |       | 1.327 | 1.327 | C650 | 18 | 26 | 44 |
| B744 | 1.279 |       | 1.279 | LJ40 | 12 | 30 | 42 |
| P28R | 7     | 1.222 | 1.229 | TRIN |    | 42 | 42 |
| AS35 | 7     | 1.198 | 1.205 | AC90 | 6  | 36 | 42 |
| A119 | 2     | 1.174 | 1.176 | A1   |    | 41 | 41 |
| C404 |       | 1.129 | 1.129 | CH75 |    | 41 | 41 |
| PA24 |       | 1.123 | 1.123 | ULM  |    | 40 | 40 |
| R66  |       | 1.056 | 1.056 | E135 | 34 | 4  | 38 |
| PA34 | 24    | 1.019 | 1.043 | C25C | 9  | 28 | 37 |
| BE36 | 11    | 1.029 | 1.040 | F2TH | 26 | 10 | 36 |
| PA32 | 30    | 1.005 | 1.035 | C295 |    | 36 | 36 |
| B732 | 26    | 919   | 945   | T310 |    | 34 | 34 |
| B212 | 6     | 907   | 913   | EFOX |    | 33 | 33 |
| BE9L | 52    | 853   | 905   | C25A | 7  | 26 | 33 |
| A109 | 2     | 883   | 885   | DC3T | 5  | 26 | 31 |
| C337 |       | 842   | 842   | C421 |    | 31 | 31 |
| G150 | 191   | 639   | 830   | AB18 |    | 31 | 31 |
| TBM7 | 61    | 759   | 820   | B722 | 30 |    | 30 |
| C23  |       | 803   | 803   | CN35 |    | 30 | 30 |
| E130 |       | 797   | 797   | SW3  | 10 | 20 | 30 |
| B462 | 4     | 784   | 788   | SCOU |    | 30 | 30 |
| B733 | 40    | 748   | 788   | BE23 |    | 28 | 28 |
| C551 | 21    | 762   | 783   | JABI |    | 28 | 28 |
| R22  |       | 776   | 776   | WT9  | 4  | 23 | 27 |
| A346 | 720   |       | 720   | JUNR |    | 26 | 26 |
| BE33 |       | 707   | 707   | B767 | 26 |    | 26 |
| C82R | 2     | 680   | 682   | PA46 | 6  | 20 | 26 |
| PC12 | 23    | 641   | 664   | RANS |    | 24 | 24 |
| UH1  | 11    | 650   | 661   | B742 | 24 |    | 24 |
| B105 | 2     | 653   | 655   | GLF6 | 17 | 4  | 21 |
| KNTW |       | 643   | 643   | C130 | 3  | 17 | 20 |

|      |     |     |     |      |    |    |    |
|------|-----|-----|-----|------|----|----|----|
| BL8  |     | 638 | 638 | GL5T | 14 | 6  | 20 |
| B300 | 4   | 597 | 601 | LNC2 |    | 20 | 20 |
| C525 | 71  | 524 | 595 | COL4 | 4  | 16 | 20 |
| SR20 |     | 589 | 589 | B222 |    | 18 | 18 |
| CRJ2 | 583 | 2   | 585 | G140 | 3  | 15 | 18 |
| BE10 | 4   | 559 | 563 | J4   |    | 18 | 18 |
| C90A | 1   | 547 | 548 | L23  |    | 18 | 18 |
| B06  |     | 511 | 511 | F8L  |    | 18 | 18 |
| P32R | 2   | 468 | 470 | C25B | 12 | 6  | 18 |
| C56X | 71  | 389 | 460 | VALI |    | 17 | 17 |
| C680 | 98  | 352 | 450 | G2T1 |    | 17 | 17 |
| CH7A |     | 449 | 449 | GLF2 | 10 | 6  | 16 |
| GMBH |     | 443 | 443 | ARCP |    | 15 | 15 |
| EC20 |     | 437 | 437 | C185 |    | 15 | 15 |
| AS55 | 18  | 393 | 411 | M20F |    | 14 | 14 |
| A343 | 388 | 8   | 396 | JANU |    | 14 | 14 |
| P28T |     | 395 | 395 | NIMB |    | 14 | 14 |
| C340 | 1   | 393 | 394 | AT5T | 3  | 10 | 13 |
| EC30 |     | 392 | 392 | BKUT |    | 13 | 13 |
| AC11 |     | 375 | 375 | SAKO |    | 12 | 12 |
| AC50 |     | 371 | 371 | E200 | 2  | 10 | 12 |
| C510 | 13  | 352 | 365 | FDCT |    | 12 | 12 |
| P28B |     | 359 | 359 | DHC  | 2  | 10 | 12 |
| B95  |     | 358 | 358 | B47G |    | 12 | 12 |
| C180 | 2   | 351 | 353 | HA4T | 7  | 4  | 11 |
| PAY1 |     | 344 | 344 | AMX  | 2  | 9  | 11 |
| EC55 | 2   | 341 | 343 | WW24 | 10 |    | 10 |
| T207 |     | 324 | 324 | 8A   |    | 10 | 10 |
| E55P | 35  | 284 | 319 | GLF3 | 6  | 4  | 10 |
| B737 | 316 |     | 316 | G164 |    | 10 | 10 |
| C140 | 3   | 313 | 316 | XIAN | 10 |    | 10 |
| C72R | 4   | 311 | 315 | C425 | 2  | 7  | 9  |
| GTX  |     | 299 | 299 | PT22 |    | 9  | 9  |
| MD11 | 266 | 16  | 282 | S-19 |    | 9  | 9  |
| MU2  |     | 270 | 270 | F28  | 8  |    | 8  |
| AP22 | 2   | 264 | 266 | STOL |    | 8  | 8  |
| BE77 |     | 264 | 264 | BE9T |    | 8  | 8  |
| P32T |     | 263 | 263 | B04  |    | 8  | 8  |
| RV7  | 2   | 260 | 262 | RV10 | 4  | 4  | 8  |
| RV8  | 4   | 254 | 258 | DISC |    | 7  | 7  |

|      |     |     |     |      |   |   |   |
|------|-----|-----|-----|------|---|---|---|
| P06T | 2   | 255 | 257 | LJ31 | 6 |   | 6 |
| T34P |     | 257 | 257 | CH60 |   | 6 | 6 |
| EC35 |     | 253 | 253 | G280 | 4 | 2 | 6 |
| EXEC |     | 250 | 250 | FA50 | 6 |   | 6 |
| EV97 | 2   | 246 | 248 | L410 | 1 | 4 | 5 |
| BE95 |     | 242 | 242 | SREY |   | 5 | 5 |
| RJ85 |     | 241 | 241 | M20A |   | 5 | 5 |
| C205 |     | 241 | 241 | N3PU |   | 5 | 5 |
| CL60 | 208 | 27  | 235 | BE90 | 5 |   | 5 |
| EA50 | 14  | 219 | 233 | WACF |   | 4 | 4 |
| 500S |     | 222 | 222 | J328 | 3 | 1 | 4 |
| P210 | 11  | 202 | 213 | DC10 | 4 |   | 4 |
| A330 | 208 |     | 208 | B190 | 2 | 2 | 4 |
| LJ60 | 153 | 42  | 195 | C501 | 4 |   | 4 |
| GA8  |     | 190 | 190 | PT17 |   | 4 | 4 |
| PA39 | 2   | 175 | 177 | LJ36 | 4 |   | 4 |
| C175 |     | 176 | 176 | LNC4 | 1 | 3 | 4 |
| PTS2 |     | 175 | 175 | ALPE |   | 4 | 4 |
| ELSA |     | 164 | 164 | AT45 | 3 | 1 | 4 |
| EC   | 7   | 157 | 164 | E50P | 4 |   | 4 |
| BE30 |     | 163 | 163 | A311 | 4 |   | 4 |
| C310 |     | 163 | 163 | L13  |   | 4 | 4 |
| 172B |     | 161 | 161 | LR35 | 4 |   | 4 |
| W3   |     | 161 | 161 | MD83 | 4 |   | 4 |
| A332 | 156 |     | 156 | ACSR |   | 4 | 4 |
| GLEX | 121 | 34  | 155 | S108 |   | 4 | 4 |
| BK17 |     | 153 | 153 | EC45 | 4 |   | 4 |
| B412 | 3   | 150 | 153 | S-4  |   | 3 | 3 |
| M20P |     | 152 | 152 | BE99 |   | 3 | 3 |
| C170 |     | 147 | 147 | G64T |   | 3 | 3 |
| P46T | 2   | 138 | 140 | G109 |   | 3 | 3 |
| PA12 |     | 139 | 139 | C414 | 2 | 1 | 3 |
| BE40 | 32  | 104 | 136 | C02T |   | 2 | 2 |
| C207 | 3   | 129 | 132 | A124 | 2 |   | 2 |
| F33A |     | 131 | 131 | E35L | 2 |   | 2 |
| F900 | 78  | 51  | 129 | SW2  | 2 |   | 2 |
| B748 | 128 |     | 128 | CL   | 2 |   | 2 |
| E550 | 15  | 107 | 122 | PAY3 | 2 |   | 2 |
| BE55 |     | 120 | 120 | F50  | 2 |   | 2 |
| LAMA |     | 120 | 120 | B77W | 2 |   | 2 |

|             |    |     |     |             |   |   |   |
|-------------|----|-----|-----|-------------|---|---|---|
| <b>PIVI</b> |    | 120 | 120 | <b>ULTS</b> |   | 2 | 2 |
| <b>GLF5</b> | 99 | 21  | 120 | <b>B764</b> | 2 |   | 2 |
| <b>B350</b> | 16 | 101 | 117 | <b>EGRT</b> | 2 |   | 2 |
| <b>ECHO</b> |    | 112 | 112 | <b>ST10</b> |   | 2 | 2 |
| <b>H25B</b> | 47 | 63  | 110 | <b>C202</b> | 2 |   | 2 |
| <b>B206</b> |    | 109 | 109 | <b>IL96</b> | 2 |   | 2 |
| <b>HUSK</b> |    | 109 | 109 | <b>PILL</b> | 2 |   | 2 |
| <b>B36T</b> |    | 109 | 109 | <b>C401</b> |   | 1 | 1 |
| <b>CL30</b> | 89 | 19  | 108 | <b>UH12</b> |   | 1 | 1 |
| <b>PA25</b> |    | 107 | 107 | <b>VP1</b>  |   | 1 | 1 |
| <b>CRJX</b> | 30 | 77  | 107 | <b>C90</b>  |   | 1 | 1 |
| <b>BT36</b> | 2  | 105 | 107 | <b>CESA</b> |   | 1 | 1 |
| <b>KP2</b>  |    | 106 | 106 | <b>BO06</b> |   | 1 | 1 |
| <b>DA40</b> | 2  | 104 | 106 | <b>ST75</b> |   | 1 | 1 |
| <b>B429</b> |    | 105 | 105 | <b>AT43</b> | 1 |   | 1 |
| <b>C188</b> |    | 104 | 104 | <b>E145</b> | 1 |   | 1 |
| <b>PA23</b> |    | 101 | 101 | <b>DP90</b> |   | 1 | 1 |
| <b>NG5</b>  |    | 99  | 99  | -           | - | - | - |

## Anexo 4 – Factores de emisión

Tabla 36: Extracto Factores de emisión por motor, aeronave y modos de operación, originales del Banco de Datos de Emisión de OACI, en unidad [kg/s/engine]

| Aircraft_type | Description | Engine Type | # of engines | ENGINE ID | CO_TAKEOFF | CO_APPROACH | CO_IDLE  | CO_CLIMBOUT | HC_TAKEOFF | HC_APPROACH | HC_IDLE    | HC_CLIMBOUT | NOX_TAKEOFF | NOX_APPROACH | NOX_IDLE  | NOX_CLIMBOUT | FUEL_TAKEOFF | FUEL_APPROACH | FUEL_IDLE | FUEL_CLIMBOUT |
|---------------|-------------|-------------|--------------|-----------|------------|-------------|----------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|-----------|--------------|--------------|---------------|-----------|---------------|
| G650          | Landplane   | Jet         | 2            | 11BR011   | 0,0003156  | 0,001311    | 0,003562 | 0,000208    | 7,89E-08   | 0,00000221  | 0,000255   | 0,000000065 | 0,01335     | 0,001726     | 0,0002873 | 0,008658     | 0,789        | 0,221         | 0,085     | 0,65          |
| GLF6          | Landplane   | Jet         | 2            | 11BR011   | 0,0003156  | 0,001311    | 0,003562 | 0,000208    | 7,89E-08   | 0,00000221  | 0,000255   | 0,000000065 | 0,01335     | 0,001726     | 0,0002873 | 0,008658     | 0,789        | 0,221         | 0,085     | 0,65          |
| B788          | Landplane   | Jet         | 2            | 11GE136   | 0,0004077  | 0,001806    | 0,004302 | 0,0007072   | 0,0000453  | 0,00003624  | 0,0001612  | 0,00003722  | 0,05622     | 0,005454     | 0,0008438 | 0,02719      | 2,265        | 0,604         | 0,199     | 1,861         |
| B748          | Landplane   | Jet         | 4            | 11GE139   | 0,0004167  | 0,001774    | 0,004093 | 0,0005634   | 0,00004902 | 0,00004206  | 0,0001231  | 0,00004024  | 0,07647     | 0,006716     | 0,0009569 | 0,0361       | 2,451        | 0,701         | 0,216     | 2,012         |
| E190          | Landplane   | Jet         | 2            | 11GE146   | 0,0007743  | 0,0009608   | 0,003672 | 0,0005521   | 0,0000435  | 0,0000239   | 0,0003538  | 0,00006453  | 0,01712     | 0,001898     | 0,0003247 | 0,01163      | 0,87         | 0,239         | 0,088     | 0,717         |
| E195          | Landplane   | Jet         | 2            | 11GE146   | 0,0007743  | 0,0009608   | 0,003672 | 0,0005521   | 0,0000435  | 0,0000239   | 0,0003538  | 0,00006453  | 0,01712     | 0,001898     | 0,0003247 | 0,01163      | 0,87         | 0,239         | 0,088     | 0,717         |
| CL300         | Landplane   | Jet         | 2            | 11HN003   | 0,0001943  | 0,0006531   | 0,001596 | 0,0001814   | 0,00001735 | 0,00001248  | 0,00006048 | 0,00001728  | 0,006211    | 0,0009162    | 0,0001877 | 0,004657     | 0,347        | 0,104         | 0,048     | 0,288         |
| CL30          | Landplane   | Jet         | 2            | 11HN003   | 0,0001943  | 0,0006531   | 0,001596 | 0,0001814   | 0,00001735 | 0,00001248  | 0,00006048 | 0,00001728  | 0,006211    | 0,0009162    | 0,0001877 | 0,004657     | 0,347        | 0,104         | 0,048     | 0,288         |
| G280          | Landplane   | Jet         | 2            | 11HN005   | 0,000212   | 0,0006495   | 0,001494 | 0,0001848   | 0,0000186  | 0,00001284  | 0,00004851 | 0,00001848  | 0,006856    | 0,0009587    | 0,0001943 | 0,005064     | 0,372        | 0,107         | 0,049     | 0,308         |
| FA7X          | Landplane   | Jet         | 3            | 11PW100   | 0,0001875  | 0,0003437   | 0,001782 | 0,0001973   | 3,29E-08   | 0,00000102  | 0,0001458  | 2,74E-08    | 0,005205    | 0,0006916    | 0,0001076 | 0,003746     | 0,329        | 0,102         | 0,045     | 0,274         |
| B763          | Landplane   | Jet         | 2            | 12PW101   | 0,001489   | 0,00142     | 0,009159 | 0,0009976   | 0,0002054  | 0,0000696   | 0,002396   | 0,0001222   | 0,08148     | 0,008289     | 0,0007663 | 0,05096      | 2,567        | 0,696         | 0,206     | 2,036         |
| B789          | Landplane   | Jet         | 2            | 12RR055   | 0,001164   | 0,0004688   | 0,002003 | 0,0008634   | 2,282E-07  | 0,000000625 | 0,00001185 | 1,877E-07   | 0,1059      | 0,00825      | 0,001296  | 0,06676      | 2,282        | 0,625         | 0,237     | 1,877         |
| IL96          | Landplane   | Jet         | 4            | 13AA006   | 0,0006281  | 0,0006132   | 0,002543 | 0,0005756   | 0,0001532  | 0,0004037   | 0,0002211  | 0,0001663   | 0,04676     | 0,004579     | 0,0008241 | 0,02984      | 1,532        | 0,511         | 0,1675    | 1,279         |
| TU204         | Landplane   | Jet         | 2            | 13AA008   | 0,0006072  | 0,0009378   | 0,002871 | 0,0007261   | 0,0001518  | 0,0001031   | 0,0004925  | 0,0001564   | 0,04513     | 0,004571     | 0,0007353 | 0,02851      | 1,38         | 0,491         | 0,171     | 1,117         |
| TU214         | Landplane   | Jet         | 2            | 13AA008   | 0,0006072  | 0,0009378   | 0,002871 | 0,0007261   | 0,0001518  | 0,0001031   | 0,0004925  | 0,0001564   | 0,04513     | 0,004571     | 0,0007353 | 0,02851      | 1,38         | 0,491         | 0,171     | 1,117         |
| AN148         | Landplane   | Jet         | 2            | 13ZM004   | 0,0002789  | 0,0006098   | 0,001936 | 0,0001972   | 0,00005229 | 0,000018    | 0,0001376  | 0,00002465  | 0,01148     | 0,001645     | 0,0003742 | 0,008204     | 0,581        | 0,225         | 0,099     | 0,493         |
| AN158         | Landplane   | Jet         | 2            | 13ZM004   | 0,0002789  | 0,0006098   | 0,001936 | 0,0001972   | 0,00005229 | 0,000018    | 0,0001376  | 0,00002465  | 0,01148     | 0,001645     | 0,0003742 | 0,008204     | 0,581        | 0,225         | 0,099     | 0,493         |
| E550          | Landplane   | Jet         | 2            | 14HN006   | 0,0001792  | 0,0006625   | 0,001663 | 0,0001949   | 0,0000192  | 0,00001164  | 0,00006288 | 0,00001869  | 0,005475    | 0,0008197    | 0,0001838 | 0,004163     | 0,32         | 0,097         | 0,048     | 0,267         |

|                |            |     |   |           |            |            |           |            |              |              |             |             |           |            |             |           |       |       |       |       |
|----------------|------------|-----|---|-----------|------------|------------|-----------|------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| <b>FA2000</b>  | Landp lane | Jet | 2 | 14P W10 3 | 0,0001 85  | 0,00048 49 | 0,001 815 | 0,0001 75  | 0,0000 00037 | 0,00000 0116 | 0,0000 1911 | 3,07E-08    | 0,0070 67 | 0,00078 88 | 0,0001 73   | 0,00459 3 | 0,37  | 0,116 | 0,049 | 0,307 |
| <b>FA2THDX</b> | Landp lane | Jet | 2 | 14P W10 3 | 0,0001 85  | 0,00048 49 | 0,001 815 | 0,0001 75  | 0,0000 00037 | 0,00000 0116 | 0,0000 1911 | 3,07E-08    | 0,0070 67 | 0,00078 88 | 0,0001 73   | 0,00459 3 | 0,37  | 0,116 | 0,049 | 0,307 |
| <b>FA2THEX</b> | Landp lane | Jet | 2 | 14P W10 3 | 0,0001 85  | 0,00048 49 | 0,001 815 | 0,0001 75  | 0,0000 00037 | 0,00000 0116 | 0,0000 1911 | 3,07E-08    | 0,0070 67 | 0,00078 88 | 0,0001 73   | 0,00459 3 | 0,37  | 0,116 | 0,049 | 0,307 |
| <b>F2TH</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 14P W10 3 | 0,0001 85  | 0,00048 49 | 0,001 815 | 0,0001 75  | 0,0000 00037 | 0,00000 0116 | 0,0000 1911 | 3,07E-08    | 0,0070 67 | 0,00078 88 | 0,0001 73   | 0,00459 3 | 0,37  | 0,116 | 0,049 | 0,307 |
| <b>A332</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 14RR 071  | 0,0006 592 | 0,00128 1  | 0,006 472 | 0,0012 4   | 0,0000 3139  | 0,00003 284  | 0,0006 642  | 0,0000 253  | 0,1116    | 0,00855 5  | 0,0012 58   | 0,06785   | 3,139 | 0,821 | 0,27  | 2,53  |
| <b>A333</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 14RR 071  | 0,0006 592 | 0,00128 1  | 0,006 472 | 0,0012 4   | 0,0000 3139  | 0,00003 284  | 0,0006 642  | 0,0000 253  | 0,1116    | 0,00855 5  | 0,0012 58   | 0,06785   | 3,139 | 0,821 | 0,27  | 2,53  |
| <b>A350</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 14RR 075  | 0,0010 99  | 0,00096 12 | 0,006 012 | 0,0008 993 | 2,819E -07   | 0,00000 0801 | 0,0002 735  | 2,306E-07   | 0,1282    | 0,00917 9  | 0,0013 76   | 0,07963   | 2,819 | 0,801 | 0,291 | 2,306 |
| <b>TU134</b>   | Landp lane | Jet | 2 | 1AA0 01   | 0,0031 05  | 0,00507 5  | 0,007 839 | 0,0031 2   | 0,0001 38    | 0,00052 5    | 0,0056 68   | 0,0001 365  | 0,0219 7  | 0,00245    | 0,0004 68   | 0,01589   | 1,15  | 0,35  | 0,13  | 0,975 |
| <b>IL76</b>    | Landp lane | Jet | 4 | 1AA0 02   | 0,0036 74  | 0,00754 6  | 0,013 1   | 0,0039 76  | 0,0011 69    | 0,00132 3    | 0,0027 93   | 0,0011 36   | 0,0275 6  | 0,00308 7  | 0,0006 93   | 0,01917   | 1,67  | 0,49  | 0,21  | 1,42  |
| <b>IL78</b>    | Landp lane | Jet | 4 | 1AA0 02   | 0,0036 74  | 0,00754 6  | 0,013 1   | 0,0039 76  | 0,0011 69    | 0,00132 3    | 0,0027 93   | 0,0011 36   | 0,0275 6  | 0,00308 7  | 0,0006 93   | 0,01917   | 1,67  | 0,49  | 0,21  | 1,42  |
| <b>IL62</b>    | Landp lane | Jet | 4 | 1AA0 03   | 0,0042 56  | 0,0059     | 0,011 61  | 0,0048 1   | 0,0004 56    | 0,0006       | 0,0022 58   | 0,0005 2    | 0,0247 8  | 0,00255    | 0,0005 805  | 0,01638   | 1,52  | 0,5   | 0,215 | 1,3   |
| <b>TU154</b>   | Landp lane | Jet | 3 | 1AA0 04   | 0,0042 6   | 0,00764 4  | 0,016 08  | 0,0039 6   | 0,0005 68    | 0,00079 8    | 0,0026 29   | 0,0005 5    | 0,0205 9  | 0,00214 2  | 0,0006 003  | 0,01276   | 1,42  | 0,42  | 0,207 | 1,1   |
| <b>EMB300</b>  | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>FA10</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>FA100</b>   | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>LJ31</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>LR35</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>LJ35</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>LJ36</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>LJ40</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>LJ45</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |
| <b>E55P</b>    | Landp lane | Jet | 2 | 1AS0 01   | 0,0002 858 | 0,00149 9  | 0,001 406 | 0,0003 512 | 0,0000 2337  | 0,00028 54   | 0,0004 81   | 0,0000 2214 | 0,0031 26 | 0,00039 53 | 0,0000 6768 | 0,00226 3 | 0,205 | 0,067 | 0,024 | 0,173 |



|      |               |     |   |            |               |               |              |               |                |                |                |                 |               |               |                |               |       |        |            |        |
|------|---------------|-----|---|------------|---------------|---------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|-------|--------|------------|--------|
| F900 | Landp<br>lane | Jet | 3 | 1AS0<br>02 | 0,0002<br>543 | 0,00112       | 0,001<br>24  | 0,0003<br>013 | 0,0000<br>1395 | 0,00010<br>15  | 0,0002<br>35   | 0,0000<br>1339  | 0,0043<br>09  | 0,00049<br>82 | 0,0000<br>9672 | 0,00298       | 0,225 | 0,072  | 0,026      | 0,186  |
| G150 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1AS0<br>02 | 0,0002<br>543 | 0,00112       | 0,001<br>24  | 0,0003<br>013 | 0,0000<br>1395 | 0,00010<br>15  | 0,0002<br>35   | 0,0000<br>1339  | 0,0043<br>09  | 0,00049<br>82 | 0,0000<br>9672 | 0,00298       | 0,225 | 0,072  | 0,026      | 0,186  |
| H25B | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1AS0<br>02 | 0,0002<br>543 | 0,00112       | 0,001<br>24  | 0,0003<br>013 | 0,0000<br>1395 | 0,00010<br>15  | 0,0002<br>35   | 0,0000<br>1339  | 0,0043<br>09  | 0,00049<br>82 | 0,0000<br>9672 | 0,00298       | 0,225 | 0,072  | 0,026      | 0,186  |
| WW24 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1AS0<br>02 | 0,0002<br>543 | 0,00112       | 0,001<br>24  | 0,0003<br>013 | 0,0000<br>1395 | 0,00010<br>15  | 0,0002<br>35   | 0,0000<br>1339  | 0,0043<br>09  | 0,00049<br>82 | 0,0000<br>9672 | 0,00298       | 0,225 | 0,072  | 0,026      | 0,186  |
| DC8  | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1CM<br>003 | 0,0008<br>865 | 0,00130<br>6  | 0,003<br>93  | 0,0007<br>371 | 0,0000<br>394  | 0,00002<br>488 | 0,0002<br>342  | 0,0000<br>4095  | 0,0182<br>2   | 0,00255       | 0,0005<br>12   | 0,0131        | 0,985 | 0,311  | 0,128      | 0,819  |
| B733 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1CM<br>004 | 0,0008<br>514 | 0,00110<br>2  | 0,003<br>922 | 0,0007<br>524 | 0,0000<br>3784 | 0,00002<br>32  | 0,0002<br>599  | 0,0000<br>396   | 0,0167<br>4   | 0,00240<br>7  | 0,0004<br>446  | 0,01228       | 0,946 | 0,29   | 0,114      | 0,792  |
| B735 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1CM<br>004 | 0,0008<br>514 | 0,00110<br>2  | 0,003<br>922 | 0,0007<br>524 | 0,0000<br>3784 | 0,00002<br>32  | 0,0002<br>599  | 0,0000<br>396   | 0,0167<br>4   | 0,00240<br>7  | 0,0004<br>446  | 0,01228       | 0,946 | 0,29   | 0,114      | 0,792  |
| B734 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1CM<br>007 | 0,0010<br>39  | 0,00104<br>2  | 0,003<br>323 | 0,0008<br>586 | 0,0000<br>3462 | 0,00002<br>352 | 0,0001<br>761  | 0,0000<br>3816  | 0,0238<br>9   | 0,00305<br>8  | 0,0005<br>332  | 0,01698       | 1,154 | 0,336  | 0,124      | 0,954  |
| A342 | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1CM<br>010 | 0,0012<br>16  | 0,00062<br>27 | 0,003<br>995 | 0,0008<br>608 | 0,0000<br>1046 | 0,00002<br>918 | 0,0006<br>674  | 0,0000<br>08608 | 0,0426<br>4   | 0,00355<br>8  | 0,0004<br>923  | 0,02776       | 1,308 | 0,3558 | 0,117<br>5 | 1,076  |
| B762 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1GE0<br>12 | 0,0022<br>54  | 0,00179<br>5  | 0,004<br>23  | 0,0020<br>74  | 0,0006<br>762  | 0,00028<br>85  | 0,0009<br>42   | 0,0006<br>975   | 0,0667<br>2   | 0,00692<br>3  | 0,0005<br>1    | 0,05014       | 2,254 | 0,641  | 0,15       | 1,885  |
| CRJ1 |               |     |   | 1GE0<br>35 | 4,07E-<br>08  | 0,00022<br>61 | 0,002<br>113 | 3,343E-<br>08 | 0,0000<br>2442 | 0,00001<br>547 | 0,0001<br>959  | 0,0000<br>2006  | 0,0047<br>25  | 0,00081<br>63 | 0,0001<br>895  | 0,00339       | 0,407 | 0,119  | 0,049<br>6 | 0,3343 |
| MD90 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1IA0<br>02 | 0,0005<br>581 | 0,00077<br>84 | 0,001<br>591 | 0,0005<br>456 | 0,0000<br>4317 | 0,00001<br>946 | 0,0000<br>1344 | 0,0000<br>3608  | 0,0279        | 0,00283<br>9  | 0,0006<br>016  | 0,01962       | 1,053 | 0,319  | 0,128      | 0,88   |
| IL86 | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1KK0<br>03 | 0,0093<br>6   | 0,00539<br>4  | 0,011<br>42  | 0,0067<br>2   | 0,0012         | 0,00069<br>6   | 0,0109<br>2    | 0,0009<br>6     | 0,0307<br>2   | 0,00295<br>8  | 0,0005<br>67   | 0,01936       | 2,4   | 0,58   | 0,21       | 1,6    |
| B707 | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1PW<br>001 | 0,00          | 0,00847<br>7  | 0,013<br>23  | 0,0026<br>1   | 0,0046<br>96   | 0,00138<br>4   | 0,0151<br>2    | 0,0018<br>64    | 0,0142<br>1   | 0,00166<br>1  | 0,0003<br>375  | 0,00922<br>7  | 1,174 | 0,346  | 0,135      | 0,932  |
| DC86 |               |     |   | 1PW<br>003 | 1,254E<br>-07 | 3,89E-<br>08  | 1,28E<br>-08 | 1,032E-<br>07 | 1,254E<br>-07  | 3,89E-<br>08   | 1,28E-<br>08   | 1,032E-<br>07   | 1,254E-<br>07 | 3,89E-08      | 1,28E-<br>08   | 1,032E-<br>07 | 1,254 | 0,389  | 0,128      | 1,032  |
| DC93 |               |     |   | 1PW<br>010 | 0,0012<br>13  | 0,00094<br>24 | 0,001<br>625 | 0,0010<br>87  | 0,0002<br>827  | 0,00018<br>71  | 0,0002<br>156  | 0,0002<br>646   | 0,0228<br>5   | 0,00234<br>7  | 0,0004<br>726  | 0,01427       | 1,178 | 0,3402 | 0,147<br>7 | 0,945  |
| B732 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1PW<br>011 | 0,0012<br>04  | 0,00090<br>48 | 0,001<br>774 | 0,0010<br>75  | 0,0002<br>788  | 0,00020<br>28  | 0,0002<br>552  | 0,0002<br>955   | 0,0201<br>8   | 0,00205<br>9  | 0,0004<br>253  | 0,01245       | 1,115 | 0,312  | 0,137<br>2 | 0,8955 |
| DC95 |               |     |   | 1PW<br>013 | 0,0011<br>83  | 0,00094<br>52 | 0,001<br>542 | 0,0010<br>97  | 0,0002<br>739  | 0,00018<br>41  | 0,0001<br>843  | 0,0002<br>692   | 0,0256<br>5   | 0,00283<br>2  | 0,0004<br>717  | 0,01565       | 1,245 | 0,354  | 0,147<br>4 | 0,997  |
| C500 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1PW<br>035 | 0,0003<br>922 | 0,00206<br>6  | 0,003<br>036 | 0,0004<br>34  | 0,0000<br>0148 | 0,00022<br>59  | 0,0011<br>62   | 0,0000<br>0124  | 0,0011<br>25  | 0,00017<br>54 | 0,0000<br>4025 | 0,00083<br>95 | 0,148 | 0,051  | 0,023      | 0,124  |
| C501 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1PW<br>035 | 0,0003<br>922 | 0,00206<br>6  | 0,003<br>036 | 0,0004<br>34  | 0,0000<br>0148 | 0,00022<br>59  | 0,0011<br>62   | 0,0000<br>0124  | 0,0011<br>25  | 0,00017<br>54 | 0,0000<br>4025 | 0,00083<br>95 | 0,148 | 0,051  | 0,023      | 0,124  |
| C510 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1PW<br>035 | 0,0003<br>922 | 0,00206<br>6  | 0,003<br>036 | 0,0004<br>34  | 0,0000<br>0148 | 0,00022<br>59  | 0,0011<br>62   | 0,0000<br>0124  | 0,0011<br>25  | 0,00017<br>54 | 0,0000<br>4025 | 0,00083<br>95 | 0,148 | 0,051  | 0,023      | 0,124  |
| C525 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1PW<br>035 | 0,0003<br>922 | 0,00206<br>6  | 0,003<br>036 | 0,0004<br>34  | 0,0000<br>0148 | 0,00022<br>59  | 0,0011<br>62   | 0,0000<br>0124  | 0,0011<br>25  | 0,00017<br>54 | 0,0000<br>4025 | 0,00083<br>95 | 0,148 | 0,051  | 0,023      | 0,124  |
| E500 | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1PW<br>035 | 0,0003<br>922 | 0,00206<br>6  | 0,003<br>036 | 0,0004<br>34  | 0,0000<br>0148 | 0,00022<br>59  | 0,0011<br>62   | 0,0000<br>0124  | 0,0011<br>25  | 0,00017<br>54 | 0,0000<br>4025 | 0,00083<br>95 | 0,148 | 0,051  | 0,023      | 0,124  |

|         |            |     |   |         |            |            |           |             |             |             |            |             |           |            |             |            |        |        |         |        |
|---------|------------|-----|---|---------|------------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|------------|--------|--------|---------|--------|
| SJ30    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 035 | 0,0003 922 | 0,00206 6  | 0,003 036 | 0,0004 34   | 0,0000 0148 | 0,00022 59  | 0,0011 62  | 0,0000 0124 | 0,0011 25 | 0,00017 54 | 0,0000 4025 | 0,00083 95 | 0,148  | 0,051  | 0,023   | 0,124  |
| E50P    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 035 | 0,0003 922 | 0,00206 6  | 0,003 036 | 0,0004 34   | 0,0000 0148 | 0,00022 59  | 0,0011 62  | 0,0000 0124 | 0,0011 25 | 0,00017 54 | 0,0000 4025 | 0,00083 95 | 0,148  | 0,051  | 0,023   | 0,124  |
| EA50    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 035 | 0,0003 922 | 0,00206 6  | 0,003 036 | 0,0004 34   | 0,0000 0148 | 0,00022 59  | 0,0011 62  | 0,0000 0124 | 0,0011 25 | 0,00017 54 | 0,0000 4025 | 0,00083 95 | 0,148  | 0,051  | 0,023   | 0,124  |
| C550    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| CS550   | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| C551    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| MU30 0  | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| PRM1    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| RA390   | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| SN601   | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| C25A    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| MU2     | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 036 | 0,0003 564 | 0,00188 8  | 0,002 532 | 0,0004 547  | 0,0000 1527 | 0,00030 39  | 0,0010 44  | 0,0000 2717 | 0,0015 66 | 0,00031 21 | 0,0000 6864 | 0,00122 4  | 0,1697 | 0,059  | 0,026 1 | 0,143  |
| BE400   | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 037 | 2,054E -08 | 0,00254 8  | 0,003 528 | 0,0001 986  | 2,054E -08  | 0,00077 22  | 0,0035 25  | 0,0002 245  | 0,0022 86 | 0,00032 54 | 0,0000 4914 | 0,00174 1  | 0,2054 | 0,066  | 0,029 6 | 0,1727 |
| LJ24    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 037 | 2,054E -08 | 0,00254 8  | 0,003 528 | 0,0001 986  | 2,054E -08  | 0,00077 22  | 0,0035 25  | 0,0002 245  | 0,0022 86 | 0,00032 54 | 0,0000 4914 | 0,00174 1  | 0,2054 | 0,066  | 0,029 6 | 0,1727 |
| LJ25    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 037 | 2,054E -08 | 0,00254 8  | 0,003 528 | 0,0001 986  | 2,054E -08  | 0,00077 22  | 0,0035 25  | 0,0002 245  | 0,0022 86 | 0,00032 54 | 0,0000 4914 | 0,00174 1  | 0,2054 | 0,066  | 0,029 6 | 0,1727 |
| BE40    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 037 | 2,054E -08 | 0,00254 8  | 0,003 528 | 0,0001 986  | 2,054E -08  | 0,00077 22  | 0,0035 25  | 0,0002 245  | 0,0022 86 | 0,00032 54 | 0,0000 4914 | 0,00174 1  | 0,2054 | 0,066  | 0,029 6 | 0,1727 |
| C25B    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 037 | 2,054E -08 | 0,00254 8  | 0,003 528 | 0,0001 986  | 2,054E -08  | 0,00077 22  | 0,0035 25  | 0,0002 245  | 0,0022 86 | 0,00032 54 | 0,0000 4914 | 0,00174 1  | 0,2054 | 0,066  | 0,029 6 | 0,1727 |
| C560    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 038 | 0,0005 421 | 0,00333 8  | 0,003 439 | 0,0007 532  | 2,151E -08  | 0,00108 5   | 0,0026 68  | 0,0001 207  | 0,0021 36 | 0,00035 46 | 0,0000 2981 | 0,00176 4  | 0,2151 | 0,0678 | 0,027 6 | 0,1802 |
| A306    | Landp lane | Jet | 2 | 1PW 048 | 0,0009 924 | 0,00128 2  | 0,004 429 | 0,0010 82   | 0,0002 233  | 0,00009 548 | 0,0003 756 | 0,0000 4008 | 0,0749 3  | 0,00804 8  | 0,0010 13   | 0,04749    | 2,481  | 0,682  | 0,211   | 2,004  |
| L1011   | Landp lane | Jet | 3 | 1RR0 05 | 0,0015 47  | 0,00098 28 | 0,002 974 | 0,0005 907  | 0,0008 619  | 0,00044 1   | 0,0004 68  | 0,0004 654  | 0,1156    | 0,00617 4  | 0,0010 08   | 0,06838    | 2,21   | 0,63   | 0,24    | 1,79   |
| F100    | Landp lane | Jet | 2 | 1RR0 20 | 0,0005 32  | 0,00089 7  | 0,002 651 | 0,0005 04   | 0,0006 08   | 0,00020 7   | 0,0003 74  | 0,0001 89   | 0,0160 4  | 0,00131 1  | 0,0002 75   | 0,01058    | 0,76   | 0,23   | 0,11    | 0,63   |
| F70     | Landp lane | Jet | 2 | 1RR0 20 | 0,0005 32  | 0,00089 7  | 0,002 651 | 0,0005 04   | 0,0006 08   | 0,00020 7   | 0,0003 74  | 0,0001 89   | 0,0160 4  | 0,00131 1  | 0,0002 75   | 0,01058    | 0,76   | 0,23   | 0,11    | 0,63   |
| BAE14 1 | Landp lane | Jet | 4 | 1TL0 03 | 0,0001 074 | 0,00073 41 | 0,001 67  | 0,0000 7388 | 0,0000 2149 | 0,00002 244 | 0,0002 199 | 0,0000 1566 | 0,0047 81 | 0,00068 24 | 0,0001 542  | 0,00312    | 0,3581 | 0,1034 | 0,040 8 | 0,2955 |

|            |               |     |   |            |                |               |              |                |                 |                 |               |                 |              |               |               |              |        |        |            |        |
|------------|---------------|-----|---|------------|----------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------|--------|------------|--------|
| BAE14<br>6 | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1TLO<br>03 | 0,0001<br>074  | 0,00073<br>41 | 0,001<br>67  | 0,0000<br>7388 | 0,0000<br>2149  | 0,00002<br>244  | 0,0002<br>199 | 0,0000<br>1566  | 0,0047<br>81 | 0,00068<br>24 | 0,0001<br>542 | 0,00312      | 0,3581 | 0,1034 | 0,040<br>8 | 0,2955 |
| BAE14<br>2 | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1TLO<br>03 | 0,0001<br>074  | 0,00073<br>41 | 0,001<br>67  | 0,0000<br>7388 | 0,0000<br>2149  | 0,00002<br>244  | 0,0002<br>199 | 0,0000<br>1566  | 0,0047<br>81 | 0,00068<br>24 | 0,0001<br>542 | 0,00312      | 0,3581 | 0,1034 | 0,040<br>8 | 0,2955 |
| BAE14<br>3 | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1TLO<br>03 | 0,0001<br>074  | 0,00073<br>41 | 0,001<br>67  | 0,0000<br>7388 | 0,0000<br>2149  | 0,00002<br>244  | 0,0002<br>199 | 0,0000<br>1566  | 0,0047<br>81 | 0,00068<br>24 | 0,0001<br>542 | 0,00312      | 0,3581 | 0,1034 | 0,040<br>8 | 0,2955 |
| B462       | Landp<br>lane | Jet | 4 | 1TLO<br>03 | 0,0001<br>074  | 0,00073<br>41 | 0,001<br>67  | 0,0000<br>7388 | 0,0000<br>2149  | 0,00002<br>244  | 0,0002<br>199 | 0,0000<br>1566  | 0,0047<br>81 | 0,00068<br>24 | 0,0001<br>542 | 0,00312      | 0,3581 | 0,1034 | 0,040<br>8 | 0,2955 |
| RJ85       |               | Jet | 4 | 1TLO<br>04 | 0,0000<br>7156 | 0,00047<br>98 | 0,001<br>714 | 0,0000<br>8883 | 0,0000<br>03578 | 0,00001<br>3    | 0,0002<br>138 | 0,0000<br>02961 | 0,0051<br>95 | 0,00069<br>2  | 0,0001<br>486 | 0,00355<br>9 | 0,3578 | 0,1083 | 0,045<br>3 | 0,2961 |
| AN72       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1ZM<br>001 | 0,0003<br>17   | 0,00056<br>97 | 0,002<br>07  | 0,0002<br>132  | 6,34E-<br>08    | 0,00000<br>0211 | 0,0005<br>4   | 5,33E-<br>08    | 0,0164<br>8  | 0,00189<br>9  | 0,0005<br>5   | 0,01173      | 0,634  | 0,211  | 0,1        | 0,533  |
| AN74       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 1ZM<br>001 | 0,0003<br>17   | 0,00056<br>97 | 0,002<br>07  | 0,0002<br>132  | 6,34E-<br>08    | 0,00000<br>0211 | 0,0005<br>4   | 5,33E-<br>08    | 0,0164<br>8  | 0,00189<br>9  | 0,0005<br>5   | 0,01173      | 0,634  | 0,211  | 0,1        | 0,533  |
| YAK42      | Landp<br>lane | Jet | 3 | 1ZM<br>001 | 0,0003<br>17   | 0,00056<br>97 | 0,002<br>07  | 0,0002<br>132  | 6,34E-<br>08    | 0,00000<br>0211 | 0,0005<br>4   | 5,33E-<br>08    | 0,0164<br>8  | 0,00189<br>9  | 0,0005<br>5   | 0,01173      | 0,634  | 0,211  | 0,1        | 0,533  |
| A343       | Landp<br>lane | Jet | 4 | 2CM<br>015 | 0,0014<br>56   | 0,00054<br>04 | 0,003<br>835 | 0,0010<br>16   | 0,0000<br>1165  | 0,00002<br>509  | 0,0006<br>2   | 0,0000<br>0956  | 0,0548<br>5  | 0,00411<br>9  | 0,0005<br>307 | 0,03471      | 1,456  | 0,386  | 0,124      | 1,195  |
| A310       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 2GE0<br>37 | 0,0000<br>8608 | 0,00151       | 0,004<br>218 | 0,0000<br>8855 | 0,0001<br>076   | 0,00007<br>08   | 0,0003<br>648 | 0,0000<br>8855  | 0,0481       | 0,00699<br>7  | 0,0008<br>621 | 0,03253      | 2,152  | 0,59   | 0,192      | 1,771  |
| B744       | Landp<br>lane | Jet | 4 | 2GE0<br>45 | 0,0000<br>9688 | 0,00138<br>5  | 0,003<br>827 | 0,0000<br>7932 | 0,0001<br>211   | 0,00007<br>15   | 0,0003<br>065 | 0,0000<br>9915  | 0,0604       | 0,00810<br>6  | 0,0009<br>413 | 0,0391       | 2,422  | 0,65   | 0,199      | 1,983  |
| MD11       | Landp<br>lane | Jet | 3 | 2GE0<br>49 | 0,0001<br>315  | 0,00130<br>7  | 0,003<br>694 | 0,0000<br>8504 | 0,0001<br>052   | 0,00007<br>568  | 0,0002<br>829 | 0,0001<br>063   | 0,0739<br>3  | 0,00871       | 0,0009<br>943 | 0,04528      | 2,629  | 0,688  | 0,205      | 2,126  |
| B764       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 2GE0<br>55 | 0,0001<br>297  | 0,00131<br>6  | 0,003<br>739 | 0,0000<br>8416 | 0,0001<br>297   | 0,00007<br>502  | 0,0002<br>903 | 0,0001<br>052   | 0,0710<br>2  | 0,00861<br>4  | 0,0009<br>764 | 0,04429      | 2,594  | 0,682  | 0,203      | 2,104  |
| B773       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 2RRO<br>27 | 0,0010<br>95   | 0,00057       | 0,003<br>921 | 0,0006<br>2    | 0,0000<br>391   | 0,00000<br>1    | 0,0002<br>1   | 0,0000<br>0031  | 0,1787       | 0,01158       | 0,0015<br>99  | 0,1032       | 3,91   | 1      | 0,3        | 3,1    |
| A320       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 3CM<br>026 | 0,0010<br>19   | 0,00071<br>76 | 0,002<br>434 | 0,0008<br>415  | 0,0002<br>264   | 0,00015<br>6    | 0,0004<br>784 | 0,0001<br>87    | 0,0317       | 0,00312       | 0,0004<br>472 | 0,02169      | 1,132  | 0,312  | 0,104      | 0,935  |
| A330       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 3CM<br>026 | 0,0010<br>19   | 0,00071<br>76 | 0,002<br>434 | 0,0008<br>415  | 0,0002<br>264   | 0,00015<br>6    | 0,0004<br>784 | 0,0001<br>87    | 0,0317       | 0,00312       | 0,0004<br>472 | 0,02169      | 1,132  | 0,312  | 0,104      | 0,935  |
| AMX        | Landp<br>lane | Jet | 1 | 3CM<br>026 | 0,0010<br>19   | 0,00071<br>76 | 0,002<br>434 | 0,0008<br>415  | 0,0002<br>264   | 0,00015<br>6    | 0,0004<br>784 | 0,0001<br>87    | 0,0317       | 0,00312       | 0,0004<br>472 | 0,02169      | 1,132  | 0,312  | 0,104      | 0,935  |
| B767       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 3CM<br>026 | 0,0010<br>19   | 0,00071<br>76 | 0,002<br>434 | 0,0008<br>415  | 0,0002<br>264   | 0,00015<br>6    | 0,0004<br>784 | 0,0001<br>87    | 0,0317       | 0,00312       | 0,0004<br>472 | 0,02169      | 1,132  | 0,312  | 0,104      | 0,935  |
| A319       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 3CM<br>027 | 0,0008<br>019  | 0,00088<br>4  | 0,002<br>82  | 0,0007<br>42   | 0,0001<br>782   | 0,00018<br>2    | 0,0005<br>828 | 0,0001<br>484   | 0,0195<br>1  | 0,00226<br>2  | 0,0003<br>572 | 0,01373      | 0,891  | 0,26   | 0,094      | 0,742  |
| B736       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 3CM<br>030 | 0,0005<br>478  | 0,00087<br>68 | 0,002<br>59  | 0,0003<br>805  | 0,0000<br>913   | 0,00002<br>74   | 0,0003<br>1   | 0,0000<br>761   | 0,0187<br>2  | 0,00260<br>3  | 0,0004<br>3   | 0,01324      | 0,913  | 0,274  | 0,1        | 0,761  |
| B737       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 3CM<br>032 | 0,0004<br>412  | 0,00069<br>52 | 0,002<br>398 | 0,0005<br>46   | 0,0001<br>103   | 0,00003<br>16   | 0,0002<br>616 | 0,0000<br>91    | 0,0279<br>1  | 0,00319<br>2  | 0,0004<br>796 | 0,01866      | 1,103  | 0,316  | 0,109      | 0,91   |
| B74R       |               |     |   | 3GE0<br>68 | 0,0008<br>716  | 0,00296<br>6  | 0,003<br>919 | 0,0008<br>98   | 0,0001<br>824   | 0,00020<br>72   | 0,0004<br>434 | 0,0002<br>328   | 0,0515<br>9  | 0,00554<br>1  | 0,0005<br>542 | 0,03594      | 2,027  | 0,592  | 0,163      | 1,663  |
| A30B       | Landp<br>lane | Jet | 2 | 3GE0<br>74 | 0,0010<br>62   | 0,00246       | 0,003<br>919 | 0,0008<br>73   | 0,0003<br>305   | 0,00018<br>56   | 0,0004<br>434 | 0,0002<br>91    | 0,0684       | 0,00673<br>6  | 0,0005<br>542 | 0,04947      | 2,361  | 0,663  | 0,163      | 1,94   |

|          |            |     |   |         |            |            |            |            |             |             |             |              |           |            |            |           |        |        |         |        |
|----------|------------|-----|---|---------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----------|------------|------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| DC10     | Landp lane | Jet | 3 | 3GE0 74 | 0,0010 62  | 0,00246    | 0,003 919  | 0,0008 73  | 0,0003 305  | 0,00018 56  | 0,0004 434  | 0,0002 91    | 0,0684    | 0,00673 6  | 0,0005 542 | 0,04947   | 2,361  | 0,663  | 0,163   | 1,94   |
| B742     | Landp lane | Jet | 4 | 3GE0 77 | 0,0010 62  | 0,00246    | 0,003 919  | 0,0008 73  | 0,0003 305  | 0,00018 56  | 0,0004 434  | 0,0002 91    | 0,0684    | 0,00673 6  | 0,0005 542 | 0,04947   | 2,361  | 0,663  | 0,163   | 1,94   |
| B743     | Landp lane | Jet | 4 | 3GE0 77 | 0,0010 62  | 0,00246    | 0,003 919  | 0,0008 73  | 0,0003 305  | 0,00018 56  | 0,0004 434  | 0,0002 91    | 0,0684    | 0,00673 6  | 0,0005 542 | 0,04947   | 2,361  | 0,663  | 0,163   | 1,94   |
| A124     |            | Jet | 4 | 3GE0 78 | 0,0011 09  | 0,00228 1  | 0,003 919  | 0,0008 787 | 0,0003 133  | 0,00017 34  | 0,0004 434  | 0,0002 996   | 0,0713 1  | 0,00699 7  | 0,0005 542 | 0,0526    | 2,41   | 0,667  | 0,163   | 1,997  |
| A321     | Landp lane | Jet | 2 | 3IA0 08 | 0,0006 602 | 0,00064 37 | 0,001 27   | 0,0005 895 | 0,0000 6702 | 0,00002 029 | 0,0000 1363 | 0,0000 4922  | 0,0520 2  | 0,00422 5  | 0,0007 142 | 0,03282   | 1,426  | 0,3901 | 0,136 3 | 1,145  |
| E145     | Landp lane | Jet | 2 | 4AL0 03 | 0,0002 828 | 0,00038 38 | 0,000 8502 | 0,0002 898 | 0,0000 9425 | 0,00007 488 | 0,0001 23   | 0,0000 9135  | 0,0077 44 | 0,00091 14 | 0,0001 877 | 0,00550 3 | 0,377  | 0,117  | 0,049   | 0,315  |
| B717     | Landp lane | Jet | 2 | 4BR0 05 | 0,0005 485 | 0,00097 2  | 0,001 972  | 0,0004 322 | 0,0000 4155 | 0,00000 48  | 0,0000 11   | 0,0000 4116  | 0,0174 3  | 0,0021     | 0,0003 95  | 0,01127   | 0,831  | 0,24   | 0,1     | 0,686  |
| BD700    | Landp lane | Jet | 2 | 4BR0 09 | 0,0007 426 | 0,00102 9  | 0,002 492  | 0,0005 534 | 0,0000 1428 | 0,00001 07  | 0,0000 9968 | 0,0000 119   | 0,0133 7  | 0,00164 1  | 0,0004 156 | 0,00894 3 | 0,714  | 0,214  | 0,089   | 0,595  |
| GL5T     | Landp lane | Jet | 2 | 4BR0 09 | 0,0007 426 | 0,00102 9  | 0,002 492  | 0,0005 534 | 0,0000 1428 | 0,00001 07  | 0,0000 9968 | 0,0000 119   | 0,0133 7  | 0,00164 1  | 0,0004 156 | 0,00894 3 | 0,714  | 0,214  | 0,089   | 0,595  |
| GLEX     | Landp lane | Jet | 2 | 4BR0 09 | 0,0007 426 | 0,00102 9  | 0,002 492  | 0,0005 534 | 0,0000 1428 | 0,00001 07  | 0,0000 9968 | 0,0000 119   | 0,0133 7  | 0,00164 1  | 0,0004 156 | 0,00894 3 | 0,714  | 0,214  | 0,089   | 0,595  |
| B721     | Landp lane | Jet | 3 | 4PW 070 | 0,0005 384 | 0,00137 6  | 0,002 451  | 0,0005 121 | 1,282E -07  | 3,63E- 08   | 1,37E- 08   | 1,045E- 07   | 0,0211 4  | 0,00277 7  | 0,0005 549 | 0,01361   | 1,282  | 0,363  | 0,137   | 1,045  |
| B722     | Landp lane | Jet | 3 | 4PW 070 | 0,0005 384 | 0,00137 6  | 0,002 451  | 0,0005 121 | 1,282E -07  | 3,63E- 08   | 1,37E- 08   | 1,045E- 07   | 0,0211 4  | 0,00277 7  | 0,0005 549 | 0,01361   | 1,282  | 0,363  | 0,137   | 1,045  |
| MD80     | Landp lane | Jet | 2 | 4PW 070 | 0,0005 384 | 0,00137 6  | 0,002 451  | 0,0005 121 | 1,282E -07  | 3,63E- 08   | 1,37E- 08   | 1,045E- 07   | 0,0211 4  | 0,00277 7  | 0,0005 549 | 0,01361   | 1,282  | 0,363  | 0,137   | 1,045  |
| MD82     | Landp lane | Jet | 2 | 4PW 070 | 0,0005 384 | 0,00137 6  | 0,002 451  | 0,0005 121 | 1,282E -07  | 3,63E- 08   | 1,37E- 08   | 1,045E- 07   | 0,0211 4  | 0,00277 7  | 0,0005 549 | 0,01361   | 1,282  | 0,363  | 0,137   | 1,045  |
| MD83     |            | Jet | 2 | 4PW 071 | 0,0005 687 | 0,00136 3  | 0,002 31   | 0,0004 991 | 1,354E -07  | 3,817E- 08  | 1,344E -08  | 1,085E- 07   | 0,0253 5  | 0,00292    | 0,0005 591 | 0,0149    | 1,354  | 0,3817 | 0,134 4 | 1,085  |
| MD87     |            | Jet | 2 | 4PW 071 | 0,0005 687 | 0,00136 3  | 0,002 31   | 0,0004 991 | 1,354E -07  | 3,817E- 08  | 1,344E -08  | 1,085E- 07   | 0,0253 5  | 0,00292    | 0,0005 591 | 0,0149    | 1,354  | 0,3817 | 0,134 4 | 1,085  |
| F28      | Landp lane | Jet | 2 | 4RR0 35 | 0,0011 32  | 0,00127 7  | 0,003 004  | 0,0012 33  | 0,0001 103  | 0,00007 293 | 0,0003 287  | 0,0001 305   | 0,0127 4  | 0,00111 6  | 0,0002 15  | 0,00774 5 | 0,735  | 0,221  | 0,096 4 | 0,593  |
| CL700 RJ | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 83 | 0,0002 477 | 0,00048 92 | 0,001 719  | 0,0002 471 | 0,0000 1208 | 0,00001 009 | 0,0000 0552 | 0,0000 09882 | 0,0088 64 | 0,00186 6  | 0,0002 974 | 0,00633 4 | 0,6042 | 0,1681 | 0,069   | 0,4941 |
| CL600    | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 84 | 3,991E -08 | 0,00021 81 | 0,002 327  | 3,288E- 08 | 0,0000 2395 | 0,00001 508 | 0,0002 293  | 0,0000 1644  | 0,0045 02 | 0,00076 91 | 0,0001 819 | 0,00318 3 | 0,3991 | 0,116  | 0,048 9 | 0,3288 |
| CL600 RJ | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 84 | 3,991E -08 | 0,00021 81 | 0,002 327  | 3,288E- 08 | 0,0000 2395 | 0,00001 508 | 0,0002 293  | 0,0000 1644  | 0,0045 02 | 0,00076 91 | 0,0001 819 | 0,00318 3 | 0,3991 | 0,116  | 0,048 9 | 0,3288 |
| CL604    | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 84 | 3,991E -08 | 0,00021 81 | 0,002 327  | 3,288E- 08 | 0,0000 2395 | 0,00001 508 | 0,0002 293  | 0,0000 1644  | 0,0045 02 | 0,00076 91 | 0,0001 819 | 0,00318 3 | 0,3991 | 0,116  | 0,048 9 | 0,3288 |
| CL605    | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 84 | 3,991E -08 | 0,00021 81 | 0,002 327  | 3,288E- 08 | 0,0000 2395 | 0,00001 508 | 0,0002 293  | 0,0000 1644  | 0,0045 02 | 0,00076 91 | 0,0001 819 | 0,00318 3 | 0,3991 | 0,116  | 0,048 9 | 0,3288 |
| CL       | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 84 | 3,991E -08 | 0,00021 81 | 0,002 327  | 3,288E- 08 | 0,0000 2395 | 0,00001 508 | 0,0002 293  | 0,0000 1644  | 0,0045 02 | 0,00076 91 | 0,0001 819 | 0,00318 3 | 0,3991 | 0,116  | 0,048 9 | 0,3288 |

|          |            |     |   |         |            |            |           |            |             |              |            |              |           |            |            |           |        |        |         |        |
|----------|------------|-----|---|---------|------------|------------|-----------|------------|-------------|--------------|------------|--------------|-----------|------------|------------|-----------|--------|--------|---------|--------|
| CL60     | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 84 | 3,991E -08 | 0,00021 81 | 0,002 327 | 3,288E- 08 | 0,0000 2395 | 0,00001 508  | 0,0002 293 | 0,0000 1644  | 0,0045 02 | 0,00076 91 | 0,0001 819 | 0,00318 3 | 0,3991 | 0,116  | 0,048 9 | 0,3288 |
| CRJ2     | Landp lane | Jet | 2 | 5GE0 84 | 3,991E -08 | 0,00021 81 | 0,002 327 | 3,288E- 08 | 0,0000 2395 | 0,00001 508  | 0,0002 293 | 0,0000 1644  | 0,0045 02 | 0,00076 91 | 0,0001 819 | 0,00318 3 | 0,3991 | 0,116  | 0,048 9 | 0,3288 |
| B752     | Landp lane | Jet | 2 | 5RRO 38 | 0,0004 81  | 0,00141 4  | 0,003 659 | 0,0004 35  | 0,0000 555  | 0,00002 08   | 0,0000 486 | 0,0000 0015  | 0,0412 7  | 0,00435 8  | 0,0007 92  | 0,02634   | 1,85   | 0,52   | 0,18    | 1,5    |
| B753     | Landp lane | Jet | 2 | 5RRO 39 | 0,0006 831 | 0,00133 7  | 0,003 466 | 0,0004 264 | 0,0001 449  | 0,00002 75   | 0,0000 266 | 0,0000 00164 | 0,0535 7  | 0,00475 8  | 0,0008 702 | 0,03165   | 2,07   | 0,55   | 0,19    | 1,64   |
| E135     | Landp lane | Jet | 2 | 6ALO 19 | 0,0001 792 | 0,00082 31 | 0,001 85  | 0,0001 498 | 0,0000 1075 | 0,00000 3228 | 0,0001 837 | 0,0000 08985 | 0,0055 18 | 0,00074 57 | 0,0001 846 | 0,00403 7 | 0,3583 | 0,1076 | 0,044 8 | 0,2995 |
| EMB6 00  | Landp lane | Jet | 2 | 6ALO 19 | 0,0001 792 | 0,00082 31 | 0,001 85  | 0,0001 498 | 0,0000 1075 | 0,00000 3228 | 0,0001 837 | 0,0000 08985 | 0,0055 18 | 0,00074 57 | 0,0001 846 | 0,00403 7 | 0,3583 | 0,1076 | 0,044 8 | 0,2995 |
| EMB6 50  | Landp lane | Jet | 2 | 6ALO 19 | 0,0001 792 | 0,00082 31 | 0,001 85  | 0,0001 498 | 0,0000 1075 | 0,00000 3228 | 0,0001 837 | 0,0000 08985 | 0,0055 18 | 0,00074 57 | 0,0001 846 | 0,00403 7 | 0,3583 | 0,1076 | 0,044 8 | 0,2995 |
| E35L     | Landp lane | Jet | 2 | 6ALO 19 | 0,0001 792 | 0,00082 31 | 0,001 85  | 0,0001 498 | 0,0000 1075 | 0,00000 3228 | 0,0001 837 | 0,0000 08985 | 0,0055 18 | 0,00074 57 | 0,0001 846 | 0,00403 7 | 0,3583 | 0,1076 | 0,044 8 | 0,2995 |
| C750     | Landp lane | Jet | 2 | 6ALO 24 | 3,222E -08 | 0,00016 05 | 0,001 506 | 2,689E- 08 | 3,222E -08  | 0,00002 081  | 0,0002 458 | 0,0000 02689 | 0,0065 08 | 0,00066 5  | 0,0001 313 | 0,00473 3 | 0,3222 | 0,0991 | 0,041 8 | 0,2689 |
| G500     | Landp lane | Jet | 2 | 6BRO 10 | 0,0007 769 | 0,00105 8  | 0,002 62  | 0,0005 676 | 0,0000 1494 | 0,00001 075  | 0,0001 901 | 0,0000 1234  | 0,0145 8  | 0,00165 8  | 0,0003 735 | 0,00952   | 0,747  | 0,215  | 0,083   | 0,617  |
| G550     | Landp lane | Jet | 2 | 6BRO 10 | 0,0007 769 | 0,00105 8  | 0,002 62  | 0,0005 676 | 0,0000 1494 | 0,00001 075  | 0,0001 901 | 0,0000 1234  | 0,0145 8  | 0,00165 8  | 0,0003 735 | 0,00952   | 0,747  | 0,215  | 0,083   | 0,617  |
| GLF5     | Landp lane | Jet | 2 | 6BRO 10 | 0,0007 769 | 0,00105 8  | 0,002 62  | 0,0005 676 | 0,0000 1494 | 0,00001 075  | 0,0001 901 | 0,0000 1234  | 0,0145 8  | 0,00165 8  | 0,0003 735 | 0,00952   | 0,747  | 0,215  | 0,083   | 0,617  |
| G300     | Landp lane | Jet | 2 | 6RRO 42 | 0,0008 299 | 0,00120 3  | 0,002 998 | 0,0007 772 | 0,0000 1482 | 0,00000 0241 | 0,0001 166 | 6,12E- 08    | 0,0136 5  | 0,00135    | 0,0002 898 | 0,00918 6 | 0,741  | 0,241  | 0,105   | 0,612  |
| G350     | Landp lane | Jet | 2 | 6RRO 42 | 0,0008 299 | 0,00120 3  | 0,002 998 | 0,0007 772 | 0,0000 1482 | 0,00000 0241 | 0,0001 166 | 6,12E- 08    | 0,0136 5  | 0,00135    | 0,0002 898 | 0,00918 6 | 0,741  | 0,241  | 0,105   | 0,612  |
| G400     | Landp lane | Jet | 2 | 6RRO 42 | 0,0008 299 | 0,00120 3  | 0,002 998 | 0,0007 772 | 0,0000 1482 | 0,00000 0241 | 0,0001 166 | 6,12E- 08    | 0,0136 5  | 0,00135    | 0,0002 898 | 0,00918 6 | 0,741  | 0,241  | 0,105   | 0,612  |
| G450     | Landp lane | Jet | 2 | 6RRO 42 | 0,0008 299 | 0,00120 3  | 0,002 998 | 0,0007 772 | 0,0000 1482 | 0,00000 0241 | 0,0001 166 | 6,12E- 08    | 0,0136 5  | 0,00135    | 0,0002 898 | 0,00918 6 | 0,741  | 0,241  | 0,105   | 0,612  |
| GLF4     | Landp lane | Jet | 2 | 6RRO 42 | 0,0008 299 | 0,00120 3  | 0,002 998 | 0,0007 772 | 0,0000 1482 | 0,00000 0241 | 0,0001 166 | 6,12E- 08    | 0,0136 5  | 0,00135    | 0,0002 898 | 0,00918 6 | 0,741  | 0,241  | 0,105   | 0,612  |
| A318     | Landp lane | Jet | 2 | 7CM 048 | 0,0007     | 0,00102 2  | 0,003 093 | 0,0005 832 | 0,0000 875  | 0,00023 58   | 0,0006 11  | 0,0000 729   | 0,0172 4  | 0,00220 1  | 0,0003 196 | 0,01217   | 0,875  | 0,262  | 0,094   | 0,729  |
| B77W     | Landp lane | Jet | 2 | 7GE0 99 | 0,0003 752 | 0,00223 7  | 0,014 86  | 0,0002 569 | 0,0001 876  | 0,00006 78   | 0,0016 11  | 0,0001 101   | 0,2361    | 0,01865    | 0,0019 72  | 0,132     | 4,69   | 1,13   | 0,38    | 3,67   |
| B77L     | Landp lane | Jet | 2 | 7GE0 99 | 0,0003 752 | 0,00223 7  | 0,014 86  | 0,0002 569 | 0,0001 876  | 0,00006 78   | 0,0016 11  | 0,0001 101   | 0,2361    | 0,01865    | 0,0019 72  | 0,132     | 4,69   | 1,13   | 0,38    | 3,67   |
| C680     | Landp lane | Jet | 2 | 7PW 077 | 0,0007 198 | 0,00069 25 | 0,001 534 | 0,0006 629 | 3,171E -08  | 9,74E- 08    | 0,0001 84  | 2,641E- 08   | 0,0063 67 | 0,00115 6  | 0,0001 798 | 0,00508 7 | 0,3171 | 0,0974 | 0,042 2 | 0,2641 |
| G200     | Landp lane | Jet | 2 | 7PW 077 | 0,0007 198 | 0,00069 25 | 0,001 534 | 0,0006 629 | 3,171E -08  | 9,74E- 08    | 0,0001 84  | 2,641E- 08   | 0,0063 67 | 0,00115 6  | 0,0001 798 | 0,00508 7 | 0,3171 | 0,0974 | 0,042 2 | 0,2641 |
| IAI112 6 | Landp lane | Jet | 2 | 7PW 077 | 0,0007 198 | 0,00069 25 | 0,001 534 | 0,0006 629 | 3,171E -08  | 9,74E- 08    | 0,0001 84  | 2,641E- 08   | 0,0063 67 | 0,00115 6  | 0,0001 798 | 0,00508 7 | 0,3171 | 0,0974 | 0,042 2 | 0,2641 |

|          |             |         |   |         |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |             |             |        |        |         |        |
|----------|-------------|---------|---|---------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|---------|--------|
| LJ60     | Landp lane  | Jet     | 2 | 7PW 077 | 0,0007 198 | 0,00069 25 | 0,001 534  | 0,0006 629 | 3,171E -08  | 9,74E- 08   | 0,0001 84   | 2,641E- 08  | 0,0063 67   | 0,00115 6   | 0,0001 798  | 0,00508 7   | 0,3171 | 0,0974 | 0,042 2 | 0,2641 |
| GALX     | Landp lane  | Jet     | 2 | 7PW 077 | 0,0007 198 | 0,00069 25 | 0,001 534  | 0,0006 629 | 3,171E -08  | 9,74E- 08   | 0,0001 84   | 2,641E- 08  | 0,0063 67   | 0,00115 6   | 0,0001 798  | 0,00508 7   | 0,3171 | 0,0974 | 0,042 2 | 0,2641 |
| J328     | Landp lane  | Jet     | 2 | 7PW 078 | 0,0007 198 | 0,00069 25 | 0,001 534  | 0,0006 629 | 3,171E -08  | 9,74E- 08   | 0,0001 84   | 2,641E- 08  | 0,0063 67   | 0,00115 6   | 0,0001 798  | 0,00508 7   | 0,3171 | 0,0974 | 0,042 2 | 0,2641 |
| HA4T     | Landp lane  | Jet     | 2 | 7PW 079 | 0,0002 991 | 0,00050 39 | 0,001 7    | 0,0003 17  | 3,604E -08  | 0,00000 247 | 0,0002 946  | 2,991E- 08  | 0,0060 33   | 0,00099 17  | 0,0001 624  | 0,00420 5   | 0,3604 | 0,1235 | 0,044 5 | 0,2991 |
| B738     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8CM 051 | 0,0002 442 | 0,00054 08 | 0,002 124  | 0,0005 994 | 0,0001 221  | 0,00003 38  | 0,0002 147  | 0,0000 999  | 0,0351 6    | 0,00365     | 0,0005 311  | 0,02248     | 1,221  | 0,338  | 0,113   | 0,999  |
| B739     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8CM 051 | 0,0002 442 | 0,00054 08 | 0,002 124  | 0,0005 994 | 0,0001 221  | 0,00003 38  | 0,0002 147  | 0,0000 999  | 0,0351 6    | 0,00365     | 0,0005 311  | 0,02248     | 1,221  | 0,338  | 0,113   | 0,999  |
| B772     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8GE1 00 | 0,0004 217 | 0,00097 16 | 0,003 756  | 0,0003 418 | 0,0001 406  | 0,00004 54  | 0,0001 214  | 0,0001 139  | 0,1982      | 0,01578     | 0,0018 03   | 0,1189      | 3,514  | 0,908  | 0,296   | 2,848  |
| CRJX     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8GE1 04 | 0,0004 906 | 0,00076 14 | 0,001 142  | 0,0003 209 | 0,0000 1382 | 0,00001 128 | 0,0000 0858 | 0,0000 1126 | 0,0109 2    | 0,00207 9   | 0,0003 102  | 0,00740 3   | 0,691  | 0,188  | 0,066   | 0,563  |
| E170     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8GE1 08 | 0,0004 173 | 0,00076 14 | 0,001 162  | 0,0003 038 | 0,0000 1304 | 0,00001 08  | 0,0000 0832 | 0,0000 1066 | 0,0096 3    | 0,00193 9   | 0,0002 95   | 0,00674 2   | 0,652  | 0,18   | 0,064   | 0,533  |
| E175     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8GE1 08 | 0,0004 173 | 0,00076 14 | 0,001 162  | 0,0003 038 | 0,0000 1304 | 0,00001 08  | 0,0000 0832 | 0,0000 1066 | 0,0096 3    | 0,00193 9   | 0,0002 95   | 0,00674 2   | 0,652  | 0,18   | 0,064   | 0,533  |
| CL900 RJ | Landp lane  | Jet     | 2 | 8GE1 10 | 0,0004 147 | 0,00075 9  | 0,001 168  | 0,0003 021 | 0,0000 1296 | 0,00001 074 | 0,0000 0832 | 0,0000 106  | 0,0095 19   | 0,00192 4   | 0,0002 944  | 0,00667 8   | 0,648  | 0,179  | 0,064   | 0,53   |
| B745     | Landp lane  | Jet     | 4 | 8PW 085 | 0,0008 903 | 0,00062 94 | 0,001 846  | 0,0008 924 | 0,0002 473  | 0,00011 44  | 0,0004 906  | 0,0002 028  | 0,0170 1    | 0,00180 2   | 0,0004 067  | 0,01136     | 0,9892 | 0,2861 | 0,129 1 | 0,8113 |
| GLF2     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8RR0 43 | 0,0016 09  | 0,00566 4  | 0,011 66   | 0,0014 96  | 0,0008 712  | 0,00201 7   | 0,0067 51   | 0,0009 583  | 0,0206 9    | 0,00221 5   | 0,0001 761  | 0,01392     | 0,889  | 0,279  | 0,119   | 0,726  |
| GLF3     | Landp lane  | Jet     | 2 | 8RR0 43 | 0,0016 09  | 0,00566 4  | 0,011 66   | 0,0014 96  | 0,0008 712  | 0,00201 7   | 0,0067 51   | 0,0009 583  | 0,0206 9    | 0,00221 5   | 0,0001 761  | 0,01392     | 0,889  | 0,279  | 0,119   | 0,726  |
| A345     | Landp lane  | Jet     | 4 | 8RR0 44 | 0,0003 798 | 0,00039 6  | 0,002 415  | 0,0007 612 | 0,0000 422  | 0,00002 4   | 0,0000 322  | 0,0000 173  | 0,0855 6    | 0,00682 2   | 0,0013 71   | 0,0536      | 2,11   | 0,6    | 0,23    | 1,73   |
| A346     | Landp lane  | Jet     | 4 | 8RR0 45 | 0,0003 808 | 0,00033 48 | 0,002 291  | 0,0006 954 | 0,0000 448  | 0,00002 48  | 0,0000 299  | 0,0000 183  | 0,1003      | 0,00724 2   | 0,0014 01   | 0,06085     | 2,24   | 0,62   | 0,23    | 1,83   |
| A380     | Landp lane  | Jet     | 4 | 8RR0 46 | 0,0010 4   | 0,00098    | 0,004 53   | 0,0004 4   | 0,0000 0026 | 0,00000 07  | 0,0000 6    | 0,0000 0022 | 0,0967 2    | 0,00798     | 0,0015 3    | 0,06402     | 2,6    | 0,7    | 0,3     | 2,2    |
| BE23     |             | Pis tón | 1 | FOCA -1 | 0,0138 3   | 0,00443 8  | 0,000 6199 | 0,0068 39  | 0,0001 325  | 0,00005 739 | 0,0000 361  | 0,0000 7369 | 0,0000 2111 | 0,00001 598 | 0,0000 0115 | 0,00004 312 | 0,0116 | 0,0047 | 0,001   | 0,0077 |
| C172     |             | Pis tón | 1 | FOCA -1 | 0,0138 3   | 0,00443 8  | 0,000 6199 | 0,0068 39  | 0,0001 325  | 0,00005 739 | 0,0000 361  | 0,0000 7369 | 0,0000 2111 | 0,00001 598 | 0,0000 0115 | 0,00004 312 | 0,0116 | 0,0047 | 0,001   | 0,0077 |
| 172B     |             | Pis tón | 1 | FOCA -1 | 0,0138 3   | 0,00443 8  | 0,000 6199 | 0,0068 39  | 0,0001 325  | 0,00005 739 | 0,0000 361  | 0,0000 7369 | 0,0000 2111 | 0,00001 598 | 0,0000 0115 | 0,00004 312 | 0,0116 | 0,0047 | 0,001   | 0,0077 |
| 182J     |             | Pis tón | 1 | FOCA -1 | 0,0138 3   | 0,00443 8  | 0,000 6199 | 0,0068 39  | 0,0001 325  | 0,00005 739 | 0,0000 361  | 0,0000 7369 | 0,0000 2111 | 0,00001 598 | 0,0000 0115 | 0,00004 312 | 0,0116 | 0,0047 | 0,001   | 0,0077 |
| A600     | Helic opter | Pis tón | 1 | FOCA -1 | 0,0138 3   | 0,00443 8  | 0,000 6199 | 0,0068 39  | 0,0001 325  | 0,00005 739 | 0,0000 361  | 0,0000 7369 | 0,0000 2111 | 0,00001 598 | 0,0000 0115 | 0,00004 312 | 0,0116 | 0,0047 | 0,001   | 0,0077 |
| AB18     |             | Pis tón | 1 | FOCA -1 | 0,0138 3   | 0,00443 8  | 0,000 6199 | 0,0068 39  | 0,0001 325  | 0,00005 739 | 0,0000 361  | 0,0000 7369 | 0,0000 2111 | 0,00001 598 | 0,0000 0115 | 0,00004 312 | 0,0116 | 0,0047 | 0,001   | 0,0077 |

[illegible]

[illegible]

[illegible]

|      |  |            |   |             |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                |                 |                 |                 |         |        |            |         |
|------|--|------------|---|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|--------|------------|---------|
| P06T |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-15 | 0,0028<br>38   | 0,00215<br>3   | 0,000<br>6405  | 0,0019<br>01   | 0,0000<br>7086 | 0,00005<br>55   | 0,0000<br>2607  | 0,0000<br>8351  | 0,0002<br>155  | 0,00001<br>461  | 0,0000<br>0043  | 0,00012<br>41   | 0,00534 | 0,0023 | 0,000<br>5 | 0,00412 |
| PIVI |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-15 | 0,0028<br>38   | 0,00215<br>3   | 0,000<br>6405  | 0,0019<br>01   | 0,0000<br>7086 | 0,00005<br>55   | 0,0000<br>2607  | 0,0000<br>8351  | 0,0002<br>155  | 0,00001<br>461  | 0,0000<br>0043  | 0,00012<br>41   | 0,00534 | 0,0023 | 0,000<br>5 | 0,00412 |
| WT9  |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-15 | 0,0028<br>38   | 0,00215<br>3   | 0,000<br>6405  | 0,0019<br>01   | 0,0000<br>7086 | 0,00005<br>55   | 0,0000<br>2607  | 0,0000<br>8351  | 0,0002<br>155  | 0,00001<br>461  | 0,0000<br>0043  | 0,00012<br>41   | 0,00534 | 0,0023 | 0,000<br>5 | 0,00412 |
| BE77 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-16 | 0,0073<br>44   | 0,00225        | 0,001<br>789   | 0,0037<br>18   | 0,0001<br>08   | 0,00004<br>64   | 0,0000<br>6948  | 0,0000<br>6888  | 0,0000<br>432  | 0,00004<br>06   | 0,0000<br>09    | 0,00010<br>08   | 0,0072  | 0,0029 | 0,001<br>8 | 0,0056  |
| PA38 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-16 | 0,0073<br>44   | 0,00225        | 0,001<br>789   | 0,0037<br>18   | 0,0001<br>08   | 0,00004<br>64   | 0,0000<br>6948  | 0,0000<br>6888  | 0,0000<br>432  | 0,00004<br>06   | 0,0000<br>09    | 0,00010<br>08   | 0,0072  | 0,0029 | 0,001<br>8 | 0,0056  |
| R22  |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-17 | 0,0000<br>4806 | 0,00004<br>015 | 0,000<br>00744 | 0,0000<br>3392 | 0,0000<br>0672 | 0,00000<br>8225 | 0,0000<br>02934 | 0,0000<br>06375 | 0,0001<br>281  | 0,00006<br>74   | 0,0000<br>05073 | 0,00011<br>62   | 0,0064  | 0,0025 | 0,000<br>3 | 0,0051  |
| C404 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-18 | 0,0471<br>6    | 0,01577        | 0,004<br>14    | 0,0379<br>5    | 0,0004<br>042  | 0,00016<br>73   | 0,0002<br>179   | 0,0004<br>291   | 0,0000<br>1177 | 0,00001<br>738  | 0,0000<br>01248 | 0,00000<br>6192 | 0,0327  | 0,0125 | 0,003<br>2 | 0,0258  |
| C421 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-18 | 0,0471<br>6    | 0,01577        | 0,004<br>14    | 0,0379<br>5    | 0,0004<br>042  | 0,00016<br>73   | 0,0002<br>179   | 0,0004<br>291   | 0,0000<br>1177 | 0,00001<br>738  | 0,0000<br>01248 | 0,00000<br>6192 | 0,0327  | 0,0125 | 0,003<br>2 | 0,0258  |
| LNC4 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-18 | 0,0471<br>6    | 0,01577        | 0,004<br>14    | 0,0379<br>5    | 0,0004<br>042  | 0,00016<br>73   | 0,0002<br>179   | 0,0004<br>291   | 0,0000<br>1177 | 0,00001<br>738  | 0,0000<br>01248 | 0,00000<br>6192 | 0,0327  | 0,0125 | 0,003<br>2 | 0,0258  |
| PA34 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-19 | 0,0181<br>8    | 0,00766<br>2   | 0,000<br>8291  | 0,0120<br>1    | 0,0001<br>541  | 0,00008<br>709  | 0,0001<br>936   | 0,0001<br>194   | 0,0000<br>4553 | 0,00002<br>903  | 0,0000<br>02674 | 0,00005<br>4    | 0,0168  | 0,0077 | 0,001<br>4 | 0,0125  |
| C337 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-2  | 0,0176         | 0,00846<br>1   | 0,001<br>533   | 0,0138<br>4    | 0,0002<br>103  | 0,00012<br>79   | 0,0000<br>6763  | 0,0001<br>766   | 0,0000<br>2013 | 0,00000<br>6758 | 0,0000<br>03066 | 0,00001<br>579  | 0,0136  | 0,0062 | 0,001<br>4 | 0,0106  |
| P28R |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-2  | 0,0176         | 0,00846<br>1   | 0,001<br>533   | 0,0138<br>4    | 0,0002<br>103  | 0,00012<br>79   | 0,0000<br>6763  | 0,0001<br>766   | 0,0000<br>2013 | 0,00000<br>6758 | 0,0000<br>03066 | 0,00001<br>579  | 0,0136  | 0,0062 | 0,001<br>4 | 0,0106  |
| P28T |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-2  | 0,0176         | 0,00846<br>1   | 0,001<br>533   | 0,0138<br>4    | 0,0002<br>103  | 0,00012<br>79   | 0,0000<br>6763  | 0,0001<br>766   | 0,0000<br>2013 | 0,00000<br>6758 | 0,0000<br>03066 | 0,00001<br>579  | 0,0136  | 0,0062 | 0,001<br>4 | 0,0106  |
| RV8  |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-2  | 0,0176         | 0,00846<br>1   | 0,001<br>533   | 0,0138<br>4    | 0,0002<br>103  | 0,00012<br>79   | 0,0000<br>6763  | 0,0001<br>766   | 0,0000<br>2013 | 0,00000<br>6758 | 0,0000<br>03066 | 0,00001<br>579  | 0,0136  | 0,0062 | 0,001<br>4 | 0,0106  |
| SR20 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-2  | 0,0176         | 0,00846<br>1   | 0,001<br>533   | 0,0138<br>4    | 0,0002<br>103  | 0,00012<br>79   | 0,0000<br>6763  | 0,0001<br>766   | 0,0000<br>2013 | 0,00000<br>6758 | 0,0000<br>03066 | 0,00001<br>579  | 0,0136  | 0,0062 | 0,001<br>4 | 0,0106  |
| ST10 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-2  | 0,0176         | 0,00846<br>1   | 0,001<br>533   | 0,0138<br>4    | 0,0002<br>103  | 0,00012<br>79   | 0,0000<br>6763  | 0,0001<br>766   | 0,0000<br>2013 | 0,00000<br>6758 | 0,0000<br>03066 | 0,00001<br>579  | 0,0136  | 0,0062 | 0,001<br>4 | 0,0106  |
| B58  |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9    | 0,01819        | 0,002<br>818   | 0,0265<br>2    | 0,0004<br>266  | 0,00016<br>94   | 0,0000<br>5002  | 0,0003<br>197   | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638  | 0,0000<br>2159  | 0,00004<br>807  | 0,027   | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023   |
| BE58 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9    | 0,01819        | 0,002<br>818   | 0,0265<br>2    | 0,0004<br>266  | 0,00016<br>94   | 0,0000<br>5002  | 0,0003<br>197   | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638  | 0,0000<br>2159  | 0,00004<br>807  | 0,027   | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023   |
| BT36 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9    | 0,01819        | 0,002<br>818   | 0,0265<br>2    | 0,0004<br>266  | 0,00016<br>94   | 0,0000<br>5002  | 0,0003<br>197   | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638  | 0,0000<br>2159  | 0,00004<br>807  | 0,027   | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023   |
| C02T |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9    | 0,01819        | 0,002<br>818   | 0,0265<br>2    | 0,0004<br>266  | 0,00016<br>94   | 0,0000<br>5002  | 0,0003<br>197   | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638  | 0,0000<br>2159  | 0,00004<br>807  | 0,027   | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023   |
| C340 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9    | 0,01819        | 0,002<br>818   | 0,0265<br>2    | 0,0004<br>266  | 0,00016<br>94   | 0,0000<br>5002  | 0,0003<br>197   | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638  | 0,0000<br>2159  | 0,00004<br>807  | 0,027   | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023   |
| C402 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9    | 0,01819        | 0,002<br>818   | 0,0265<br>2    | 0,0004<br>266  | 0,00016<br>94   | 0,0000<br>5002  | 0,0003<br>197   | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638  | 0,0000<br>2159  | 0,00004<br>807  | 0,027   | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023   |
| 500S |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9    | 0,01819        | 0,002<br>818   | 0,0265<br>2    | 0,0004<br>266  | 0,00016<br>94   | 0,0000<br>5002  | 0,0003<br>197   | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638  | 0,0000<br>2159  | 0,00004<br>807  | 0,027   | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023   |

|      |  |            |   |             |             |              |              |             |               |               |                |               |                |                |                |                |        |        |            |        |
|------|--|------------|---|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|------------|--------|
| B95  |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9 | 0,01819      | 0,002<br>818 | 0,0265<br>2 | 0,0004<br>266 | 0,00016<br>94 | 0,0000<br>5002 | 0,0003<br>197 | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638 | 0,0000<br>2159 | 0,00004<br>807 | 0,027  | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023  |
| BN2B |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9 | 0,01819      | 0,002<br>818 | 0,0265<br>2 | 0,0004<br>266 | 0,00016<br>94 | 0,0000<br>5002 | 0,0003<br>197 | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638 | 0,0000<br>2159 | 0,00004<br>807 | 0,027  | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023  |
| C202 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9 | 0,01819      | 0,002<br>818 | 0,0265<br>2 | 0,0004<br>266 | 0,00016<br>94 | 0,0000<br>5002 | 0,0003<br>197 | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638 | 0,0000<br>2159 | 0,00004<br>807 | 0,027  | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023  |
| D28D |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9 | 0,01819      | 0,002<br>818 | 0,0265<br>2 | 0,0004<br>266 | 0,00016<br>94 | 0,0000<br>5002 | 0,0003<br>197 | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638 | 0,0000<br>2159 | 0,00004<br>807 | 0,027  | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023  |
| PA39 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9 | 0,01819      | 0,002<br>818 | 0,0265<br>2 | 0,0004<br>266 | 0,00016<br>94 | 0,0000<br>5002 | 0,0003<br>197 | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638 | 0,0000<br>2159 | 0,00004<br>807 | 0,027  | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023  |
| C401 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9 | 0,01819      | 0,002<br>818 | 0,0265<br>2 | 0,0004<br>266 | 0,00016<br>94 | 0,0000<br>5002 | 0,0003<br>197 | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638 | 0,0000<br>2159 | 0,00004<br>807 | 0,027  | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023  |
| C414 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-20 | 0,0274<br>9 | 0,01819      | 0,002<br>818 | 0,0265<br>2 | 0,0004<br>266 | 0,00016<br>94 | 0,0000<br>5002 | 0,0003<br>197 | 0,0000<br>7992 | 0,00001<br>638 | 0,0000<br>2159 | 0,00004<br>807 | 0,027  | 0,014  | 0,006<br>1 | 0,023  |
| AC11 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,0148 |
| BE35 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,0148 |
| BE36 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,0148 |
| BE55 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,0148 |
| C205 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,0148 |
| C303 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,0148 |
| PA23 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,0148 |
| PA24 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-3  | 0,0168<br>7 | 0,00606<br>1 | 0,002<br>5   | 0,0144<br>7 | 0,0002<br>321 | 0,00012<br>06 | 0,0001<br>14   | 0,0002<br>072 | 0,0000<br>501  | 0,00004<br>44  | 0,0000<br>025  | 0,00004<br>44  | 0,0167 | 0,0074 | 0,002<br>5 | 0,014  |

|      |  |            |   |            |              |              |               |              |               |                |                |               |                |                 |                 |                |        |        |            |        |
|------|--|------------|---|------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------|--------|------------|--------|
| M20A |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| M20F |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| M20P |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| P210 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| P32R |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| P32T |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| PA31 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| PA32 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| SR22 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| TRIN |  | Pis<br>tón | 3 | FOCA<br>-4 | 0,0150<br>4  | 0,01043      | 0,004<br>421  | 0,0143<br>1  | 0,0002<br>302 | 0,00011<br>29  | 0,0001<br>62   | 0,0002<br>218 | 0,0001<br>208  | 0,00002<br>646  | 0,0000<br>01976 | 0,00013<br>16  | 0,0182 | 0,0098 | 0,003<br>8 | 0,018  |
| C150 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-5 | 0,0055<br>52 | 0,00380<br>1 | 0,000<br>6444 | 0,0055<br>52 | 0,0001<br>186 | 0,00010<br>63  | 0,0000<br>29   | 0,0001<br>186 | 0,0000<br>2776 | 0,00000<br>3648 | 0,0000<br>0158  | 0,00002<br>776 | 0,0057 | 0,0032 | 0,001      | 0,0057 |
| CESA |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-5 | 0,0055<br>52 | 0,00380<br>1 | 0,000<br>6444 | 0,0055<br>52 | 0,0001<br>186 | 0,00010<br>63  | 0,0000<br>29   | 0,0001<br>186 | 0,0000<br>2776 | 0,00000<br>3648 | 0,0000<br>0158  | 0,00002<br>776 | 0,0057 | 0,0032 | 0,001      | 0,0057 |
| C152 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-5 | 0,0055<br>52 | 0,00380<br>1 | 0,000<br>6444 | 0,0055<br>52 | 0,0001<br>186 | 0,00010<br>63  | 0,0000<br>29   | 0,0001<br>186 | 0,0000<br>2776 | 0,00000<br>3648 | 0,0000<br>0158  | 0,00002<br>776 | 0,0057 | 0,0032 | 0,001      | 0,0057 |
| G109 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-5 | 0,0055<br>52 | 0,00380<br>1 | 0,000<br>6444 | 0,0055<br>52 | 0,0001<br>186 | 0,00010<br>63  | 0,0000<br>29   | 0,0001<br>186 | 0,0000<br>2776 | 0,00000<br>3648 | 0,0000<br>0158  | 0,00002<br>776 | 0,0057 | 0,0032 | 0,001      | 0,0057 |
| PA12 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-5 | 0,0055<br>52 | 0,00380<br>1 | 0,000<br>6444 | 0,0055<br>52 | 0,0001<br>186 | 0,00010<br>63  | 0,0000<br>29   | 0,0001<br>186 | 0,0000<br>2776 | 0,00000<br>3648 | 0,0000<br>0158  | 0,00002<br>776 | 0,0057 | 0,0032 | 0,001      | 0,0057 |
| C170 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-6 | 0,0081<br>55 | 0,00333<br>9 | 0,000<br>8965 | 0,0066<br>93 | 0,0001<br>261 | 0,00006<br>571 | 0,0000<br>2074 | 0,0001<br>205 | 0,0000<br>668  | 0,00009<br>331  | 0,0000<br>02132 | 0,00005<br>536 | 0,01   | 0,0048 | 0,001<br>3 | 0,008  |
| PA18 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-6 | 0,0081<br>55 | 0,00333<br>9 | 0,000<br>8965 | 0,0066<br>93 | 0,0001<br>261 | 0,00006<br>571 | 0,0000<br>2074 | 0,0001<br>205 | 0,0000<br>668  | 0,00009<br>331  | 0,0000<br>02132 | 0,00005<br>536 | 0,01   | 0,0048 | 0,001<br>3 | 0,008  |
| RALL |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-6 | 0,0081<br>55 | 0,00333<br>9 | 0,000<br>8965 | 0,0066<br>93 | 0,0001<br>261 | 0,00006<br>571 | 0,0000<br>2074 | 0,0001<br>205 | 0,0000<br>668  | 0,00009<br>331  | 0,0000<br>02132 | 0,00005<br>536 | 0,01   | 0,0048 | 0,001<br>3 | 0,008  |
| BE95 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-7 | 0,0137<br>5  | 0,00584<br>8 | 0,001<br>729  | 0,0096<br>14 | 0,0001<br>838 | 0,00008<br>861 | 0,0000<br>4378 | 0,0001<br>314 | 0,0000<br>4212 | 0,00001<br>615  | 0,0000<br>02288 | 0,00005<br>926 | 0,012  | 0,0054 | 0,001<br>6 | 0,0102 |
| BL8  |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-7 | 0,0137<br>5  | 0,00584<br>8 | 0,001<br>729  | 0,0096<br>14 | 0,0001<br>838 | 0,00008<br>861 | 0,0000<br>4378 | 0,0001<br>314 | 0,0000<br>4212 | 0,00001<br>615  | 0,0000<br>02288 | 0,00005<br>926 | 0,012  | 0,0054 | 0,001<br>6 | 0,0102 |
| C175 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-7 | 0,0137<br>5  | 0,00584<br>8 | 0,001<br>729  | 0,0096<br>14 | 0,0001<br>838 | 0,00008<br>861 | 0,0000<br>4378 | 0,0001<br>314 | 0,0000<br>4212 | 0,00001<br>615  | 0,0000<br>02288 | 0,00005<br>926 | 0,012  | 0,0054 | 0,001<br>6 | 0,0102 |
| DA40 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-7 | 0,0137<br>5  | 0,00584<br>8 | 0,001<br>729  | 0,0096<br>14 | 0,0001<br>838 | 0,00008<br>861 | 0,0000<br>4378 | 0,0001<br>314 | 0,0000<br>4212 | 0,00001<br>615  | 0,0000<br>02288 | 0,00005<br>926 | 0,012  | 0,0054 | 0,001<br>6 | 0,0102 |
| HUSK |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-7 | 0,0137<br>5  | 0,00584<br>8 | 0,001<br>729  | 0,0096<br>14 | 0,0001<br>838 | 0,00008<br>861 | 0,0000<br>4378 | 0,0001<br>314 | 0,0000<br>4212 | 0,00001<br>615  | 0,0000<br>02288 | 0,00005<br>926 | 0,012  | 0,0054 | 0,001<br>6 | 0,0102 |

|      |  |            |   |            |              |              |              |              |               |                |                |               |                |                |                 |                |        |        |            |        |
|------|--|------------|---|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|--------|--------|------------|--------|
| JABI |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-7 | 0,0137<br>5  | 0,00584<br>8 | 0,001<br>729 | 0,0096<br>14 | 0,0001<br>838 | 0,00008<br>861 | 0,0000<br>4378 | 0,0001<br>314 | 0,0000<br>4212 | 0,00001<br>615 | 0,0000<br>02288 | 0,00005<br>926 | 0,012  | 0,0054 | 0,001<br>6 | 0,0102 |
| C180 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| C182 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| C310 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| C82R |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| P28B |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| PA25 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| PA27 |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| R44  |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| RV10 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-8 | 0,0220<br>3  | 0,00940<br>5 | 0,001<br>936 | 0,0171<br>8  | 0,0003<br>32  | 0,00033<br>66  | 0,0000<br>512  | 0,0003<br>08  | 0,0000<br>166  | 6,6E-09        | 1,6E-<br>09     | 0,00001<br>4   | 0,0166 | 0,0066 | 0,001<br>6 | 0,014  |
| A1   |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-9 | 0,0080<br>55 | 0,02776      | 0,001<br>294 | 0,0224<br>5  | 0,0007<br>222 | 0,00028<br>33  | 0,0000<br>3694 | 0,0007<br>333 | 0,0002<br>221  | 0,00030<br>01  | 0,0000<br>22    | 0,00010<br>69  | 0,2243 | 0,022  | 0,001      | 0,0449 |
| DC3  |  | Pis<br>tón | 2 | FOCA<br>-9 | 0,0080<br>55 | 0,02776      | 0,001<br>294 | 0,0224<br>5  | 0,0007<br>222 | 0,00028<br>33  | 0,0000<br>3694 | 0,0007<br>333 | 0,0002<br>221  | 0,00030<br>01  | 0,0000<br>22    | 0,00010<br>69  | 0,2243 | 0,022  | 0,001      | 0,0449 |
| M18  |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-9 | 0,0080<br>55 | 0,02776      | 0,001<br>294 | 0,0224<br>5  | 0,0007<br>222 | 0,00028<br>33  | 0,0000<br>3694 | 0,0007<br>333 | 0,0002<br>221  | 0,00030<br>01  | 0,0000<br>22    | 0,00010<br>69  | 0,2243 | 0,022  | 0,001      | 0,0449 |
| TBM7 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-9 | 0,0080<br>55 | 0,02776      | 0,001<br>294 | 0,0224<br>5  | 0,0007<br>222 | 0,00028<br>33  | 0,0000<br>3694 | 0,0007<br>333 | 0,0002<br>221  | 0,00030<br>01  | 0,0000<br>22    | 0,00010<br>69  | 0,2243 | 0,022  | 0,001      | 0,0449 |
| TBM8 |  | Pis<br>tón | 1 | FOCA<br>-9 | 0,0080<br>55 | 0,02776      | 0,001<br>294 | 0,0224<br>5  | 0,0007<br>222 | 0,00028<br>33  | 0,0000<br>3694 | 0,0007<br>333 | 0,0002<br>221  | 0,00030<br>01  | 0,0000<br>22    | 0,00010<br>69  | 0,2243 | 0,022  | 0,001      | 0,0449 |

Tabla 37: Extracto base de datos estimaciones fase CCD de la EEA, nave ejemplo B763

| IMPACT ACFT ID | Manufacturer | Description | Engine Type | Number of engines | ENGINE ID LTO | LTO or CCD | CRUISE ALT | DISTANCE [NM] | DURATION | FUEL BURNT [kg] | NOX [KG] | CO [kg] | HC [kg] |
|----------------|--------------|-------------|-------------|-------------------|---------------|------------|------------|---------------|----------|-----------------|----------|---------|---------|
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 160        | 127           | 0:22:22  | 1800,51         | 34,43    | 9,40    | 2,16    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 240        | 201           | 0:31:53  | 2609,56         | 50,64    | 12,85   | 3,03    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 280        | 251           | 0:37:40  | 3106,16         | 59,91    | 14,60   | 3,47    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 360        | 501           | 1:10:27  | 5416,03         | 91,67    | 20,29   | 4,55    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 380        | 751           | 1:43:14  | 7852,89         | 126,35   | 23,53   | 5,15    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 380        | 1 001         | 2:15:55  | 10322,64        | 160,11   | 26,11   | 5,48    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 1 502         | 3:21:24  | 15127,57        | 228,54   | 33,41   | 6,55    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 2 001         | 4:26:52  | 20135,35        | 299,53   | 39,09   | 7,30    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 2 501         | 5:32:13  | 25001,12        | 366,54   | 44,72   | 8,03    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 3 001         | 6:37:42  | 30079,15        | 439,28   | 50,54   | 8,78    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 3 501         | 7:43:03  | 34946,05        | 506,30   | 56,15   | 9,51    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 4 001         | 8:48:24  | 40104,72        | 581,02   | 61,87   | 10,25   |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 4 501         | 9:53:49  | 44975,48        | 648,09   | 67,49   | 10,98   |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 5 001         | 10:59:16 | 50017,37        | 718,67   | 72,77   | 11,67   |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | CCD        | 400        | 5 501         | 12:04:39 | 54885,81        | 785,71   | 78,40   | 12,40   |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | LTO        |            | 0             | 0:32:54  | 1729,93         | 26,67    | 29,65   | 7,56    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | LTO-2      |            | 0             | 0:27:00  | 1584,08         | 26,12    | 23,16   | 5,86    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | LTO-3      |            | 0             | 0:32:54  | 1729,93         | 26,67    | 29,65   | 7,56    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | LTO-4      |            | 0             | 0:32:54  | 1729,93         | 26,67    | 29,65   | 7,56    |
| B763           | BOEING       | Landplane   | Jet         | 2                 | 12PW101       | LTO-5      |            | 0             | 0:32:54  | 1729,93         | 26,67    | 29,65   | 7,56    |

|             |        |           |     |   |         |        |  |   |         |         |       |       |      |
|-------------|--------|-----------|-----|---|---------|--------|--|---|---------|---------|-------|-------|------|
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-6  |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-7  |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-8  |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-9  |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-10 |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-11 |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-12 |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-13 |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-14 |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |
| <b>B763</b> | BOEING | Landplane | Jet | 2 | 12PW101 | LTO-15 |  | 0 | 0:32:54 | 1729,93 | 26,67 | 29,65 | 7,56 |

Tabla 38: Aeronaves disponibles para calcular en fase CCD con categorías descriptivas

| IMPACT ACFT ID | Manufacturer      | Description | Engine Type | Number of engines | ENGINE ID LTO |
|----------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|---------------|
| AN140          | ANTONOV           | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| AN148          | ANTONOV           | Landplane   | Jet         | 2                 | 13ZM004       |
| AN158          | ANTONOV           | Landplane   | Jet         | 2                 | 13ZM004       |
| A306           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 1PW048        |
| A30B           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 3GE074        |
| A310           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 2GE037        |
| A318           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 7CM048        |
| A319           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 3CM027        |
| A320           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 3CM026        |
| A321           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 3IA008        |
| A332           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 14RR071       |
| A333           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 14RR071       |
| A342           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 4                 | 1CM010        |
| A343           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 4                 | 2CM015        |
| A345           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 4                 | 8RR044        |
| A346           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 4                 | 8RR045        |
| A350           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 2                 | 14RR075       |
| A380           | AIRBUS INDUSTRIE  | Landplane   | Jet         | 4                 | 8RR046        |
| BAE748         | BRITISH AEROSPACE | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| RC680          | GULFSTREAM        | Landplane   | Piston      | 2                 | TIO-540-J2B2  |
| RC685          | GULFSTREAM        | Landplane   | Piston      | 2                 | TIO-540-J2B2  |
| RC680T         | GULFSTREAM        | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| RC681          | GULFSTREAM        | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| RC690          | GULFSTREAM        | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| PA60           | PIPER             | Landplane   | Piston      | 2                 | TIO-540-J2B2  |
| PA61           | PIPER             | Landplane   | Piston      | 2                 | TIO-540-J2B2  |
| PA62           | PIPER             | Landplane   | Piston      | 2                 | TIO-540-J2B2  |
| AN12           | ANTONOV           | Landplane   | Turboprop   | 4                 | Turboprop     |
| Y8             | HANZHONG          | Landplane   | Turboprop   | 4                 | Turboprop     |
| AN24           | ANTONOV           | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| AN26           | ANTONOV           | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| AN30           | ANTONOV           | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| AN32           | ANTONOV           | Landplane   | Turboprop   | 2                 | Turboprop     |
| AN72           | ANTONOV           | Landplane   | Jet         | 2                 | 1ZM001        |
| AN74           | ANTONOV           | Landplane   | Jet         | 2                 | 1ZM001        |
| G100           | IAI               | Landplane   | Jet         | 2                 | 1AS002        |
| IAI1125        | IAI               | Landplane   | Jet         | 2                 | 1AS002        |

|               |                     |           |           |   |              |
|---------------|---------------------|-----------|-----------|---|--------------|
| <b>ATR42</b>  | AEROSPATIALE ALENIA | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>ATR72</b>  | AEROSPATIALE ALENIA | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>ATP</b>    | BRITISH AEROSPACE   | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>BE1900</b> | BEECHCRAFT          | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>BAE141</b> | BRITISH AEROSPACE   | Landplane | Jet       | 4 | 1TL003       |
| <b>BAE146</b> | BRITISH AEROSPACE   | Landplane | Jet       | 4 | 1TL003       |
| <b>BAE142</b> | BRITISH AEROSPACE   | Landplane | Jet       | 4 | 1TL003       |
| <b>BAE143</b> | BRITISH AEROSPACE   | Landplane | Jet       | 4 | 1TL003       |
| <b>B707</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 4 | 1PW001       |
| <b>B717</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 4BR005       |
| <b>B721</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 3 | 4PW070       |
| <b>B722</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 3 | 4PW070       |
| <b>B732</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 1PW011       |
| <b>B733</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 1CM004       |
| <b>B734</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 1CM007       |
| <b>B735</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 1CM004       |
| <b>B736</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 3CM030       |
| <b>B737</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 3CM032       |
| <b>B738</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 8CM051       |
| <b>B739</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 8CM051       |
| <b>B742</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 4 | 3GE077       |
| <b>B743</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 4 | 3GE077       |
| <b>B744</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 4 | 2GE045       |
| <b>B748</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 4 | 11GE139      |
| <b>B74S</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 4 | 8PW085       |
| <b>B752</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 5RR038       |
| <b>B753</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 5RR039       |
| <b>B762</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 1GE012       |
| <b>B763</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 12PW101      |
| <b>B764</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 2GE055       |
| <b>B772</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 8GE100       |
| <b>B773</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 2RR027       |
| <b>B77W</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 7GE099       |
| <b>B788</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 11GE136      |
| <b>B789</b>   | BOEING              | Landplane | Jet       | 2 | 12RR055      |
| <b>BE100</b>  | BEECHCRAFT          | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>BE18</b>   | BEECHCRAFT          | Landplane | Piston    | 2 | TIO-540-J2B2 |
| <b>BE200</b>  | BEECHCRAFT          | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>BE300</b>  | BEECHCRAFT          | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>BE400</b>  | BEECHCRAFT          | Landplane | Jet       | 2 | 1PW037       |

|                |                   |           |           |   |              |
|----------------|-------------------|-----------|-----------|---|--------------|
| <b>BE50</b>    | BEECHCRAFT        | Landplane | Piston    | 2 | TIO-540-J2B2 |
| <b>BE55</b>    | BEECHCRAFT        | Landplane | Piston    | 2 | IO-540-T4A5D |
| <b>BE56</b>    | BEECHCRAFT        | Landplane | Piston    | 2 | TIO-540-J2B2 |
| <b>BE58</b>    | BEECHCRAFT        | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-520-WB  |
| <b>BE60</b>    | BEECHCRAFT        | Landplane | Piston    | 2 | TIO-540-J2B2 |
| <b>BE99</b>    | BEECHCRAFT        | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>BE90</b>    | BEECHCRAFT        | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>BN2</b>     | BRITTEN NORMAN    | Landplane | Piston    | 2 | IO-540-T4A5D |
| <b>C208</b>    | CESSNA            | Landplane | Turboprop | 1 | Turboprop    |
| <b>C303</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | IO-540-T4A5D |
| <b>C335</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-520-WB  |
| <b>C340</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-520-WB  |
| <b>C401</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-520-WB  |
| <b>C402</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-520-WB  |
| <b>C404</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | TIO-540-J2B2 |
| <b>C414</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-520-WB  |
| <b>C421</b>    | CESSNA            | Landplane | Piston    | 2 | TIO-540-J2B2 |
| <b>C425</b>    | CESSNA            | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>C441</b>    | CESSNA            | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>C500</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW035       |
| <b>C501</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW035       |
| <b>C510</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW035       |
| <b>C525</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW035       |
| <b>C550</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW036       |
| <b>CS550</b>   | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW036       |
| <b>C551</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW036       |
| <b>C560</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1PW038       |
| <b>C560XL</b>  | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>C560XLS</b> | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>C650</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>C680</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 7PW077       |
| <b>C750</b>    | CESSNA            | Landplane | Jet       | 2 | 6AL024       |
| <b>CL300</b>   | BOMBARDIER        | Landplane | Jet       | 2 | 11HN003      |
| <b>CL600</b>   | CANADAIR          | Landplane | Jet       | 2 | 5GE084       |
| <b>CL600RJ</b> | CANADAIR          | Landplane | Jet       | 2 | 5GE084       |
| <b>CL604</b>   | CANADAIR          | Landplane | Jet       | 2 | 5GE084       |
| <b>CL605</b>   | CANADAIR          | Landplane | Jet       | 2 | 5GE084       |
| <b>CL700RJ</b> | CANADAIR          | Landplane | Jet       | 2 | 5GE083       |
| <b>CL900RJ</b> | CANADAIR          | Landplane | Jet       | 2 | 8GE110       |
| <b>DC10</b>    | MCDONNELL DOUGLAS | Landplane | Jet       | 3 | 3GE074       |

|                |                     |           |           |   |              |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|---|--------------|
| <b>DC3</b>     | DOUGLAS             | Landplane | Piston    | 2 | Prop>500hp   |
| <b>DC6</b>     | DOUGLAS             | Landplane | Piston    | 4 | Prop>500hp   |
| <b>DC8</b>     | MCDONNELL DOUGLAS   | Landplane | Jet       | 4 | 1CM003       |
| <b>DHC8</b>    | DE HAVILLAND CANADA | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>DHC2</b>    | DE HAVILLAND CANADA | Landplane | Piston    | 1 | TIO-540-J2B2 |
| <b>DHC6</b>    | DE HAVILLAND CANADA | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>DH104</b>   | DE HAVILLAND        | Landplane | Piston    | 2 | TIO-540-J2B2 |
| <b>E110</b>    | EMBRAER             | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>EMB100</b>  | EMBRAER             | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>E120</b>    | EMBRAER             | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>E121</b>    | EMBRAER             | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>E135</b>    | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 6AL019       |
| <b>EMB600</b>  | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 6AL019       |
| <b>EMB650</b>  | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 6AL019       |
| <b>E145</b>    | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 4AL003       |
| <b>E170</b>    | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 8GE108       |
| <b>E175</b>    | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 8GE108       |
| <b>E190</b>    | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 11GE146      |
| <b>E195</b>    | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 11GE146      |
| <b>EMB300</b>  | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001       |
| <b>E500</b>    | EMBRAER             | Landplane | Jet       | 2 | 1PW035       |
| <b>F100</b>    | FOKKER              | Landplane | Jet       | 2 | 1RR020       |
| <b>F27</b>     | FOKKER              | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>F28</b>     | FOKKER              | Landplane | Jet       | 2 | 4RR035       |
| <b>FA2000</b>  | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 2 | 14PW103      |
| <b>FA2THDX</b> | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 2 | 14PW103      |
| <b>FA2THEX</b> | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 2 | 14PW103      |
| <b>CF406</b>   | REIMS CESSNA        | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>F50</b>     | FOKKER              | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>F70</b>     | FOKKER              | Landplane | Jet       | 2 | 1RR020       |
| <b>FA900</b>   | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 3 | 1AS002       |
| <b>FA900DX</b> | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 3 | 1AS002       |
| <b>FA900EX</b> | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 3 | 1AS002       |
| <b>FA10</b>    | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001       |
| <b>FA100</b>   | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001       |
| <b>FA20</b>    | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>FA200</b>   | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>FA50</b>    | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 3 | 1AS002       |
| <b>FA7X</b>    | DASSAULT            | Landplane | Jet       | 3 | 11PW100      |
| <b>G150</b>    | IAI                 | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |

|                |                                  |           |           |   |             |
|----------------|----------------------------------|-----------|-----------|---|-------------|
| <b>G280</b>    | IAI                              | Landplane | Jet       | 2 | 11HN005     |
| <b>GA7</b>     | GULFSTREAM                       | Landplane | Piston    | 2 | IO-320-DIAD |
| <b>GA8</b>     | GIPPSLAND AERONAUTICS<br>PTY LTD | Landplane | Piston    | 1 | IO-550-B    |
| <b>G200</b>    | IAI                              | Landplane | Jet       | 2 | 7PW077      |
| <b>IAI1126</b> | IAI                              | Landplane | Jet       | 2 | 7PW077      |
| <b>BD700</b>   | BOMBARDIER                       | Landplane | Jet       | 2 | 4BR009      |
| <b>G300</b>    | GULFSTREAM                       | Landplane | Jet       | 2 | 6RR042      |
| <b>G350</b>    | GULFSTREAM                       | Landplane | Jet       | 2 | 6RR042      |
| <b>G400</b>    | GULFSTREAM                       | Landplane | Jet       | 2 | 6RR042      |
| <b>G450</b>    | GULFSTREAM                       | Landplane | Jet       | 2 | 6RR042      |
| <b>G500</b>    | GULFSTREAM                       | Landplane | Jet       | 2 | 6BR010      |
| <b>G550</b>    | GULFSTREAM                       | Landplane | Jet       | 2 | 6BR010      |
| <b>G650</b>    | GULFSTREAM                       | Landplane | Jet       | 2 | 11BR011     |
| <b>BAE125</b>  | BRITISH AEROSPACE                | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002      |
| <b>IL18</b>    | ILYUSHIN                         | Landplane | Turboprop | 4 | Turboprop   |
| <b>IL62</b>    | ILYUSHIN                         | Landplane | Jet       | 4 | 1AA003      |
| <b>IL76</b>    | ILYUSHIN                         | Landplane | Jet       | 4 | 1AA002      |
| <b>IL78</b>    | ILYUSHIN                         | Landplane | Jet       | 4 | 1AA002      |
| <b>IL86</b>    | ILYUSHIN                         | Landplane | Jet       | 4 | 1KK003      |
| <b>IL96</b>    | ILYUSHIN                         | Landplane | Jet       | 4 | 13AA006     |
| <b>BAE31</b>   | BRITISH AEROSPACE                | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop   |
| <b>BAE41</b>   | BRITISH AEROSPACE                | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop   |
| <b>L1011</b>   | LOCKHEED                         | Landplane | Jet       | 3 | 1RR005      |
| <b>L188</b>    | LOCKHEED                         | Landplane | Turboprop | 4 | Turboprop   |
| <b>L200</b>    | LET                              | Landplane | Piston    | 2 | IO-360-A1B6 |
| <b>L410</b>    | LET                              | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop   |
| <b>L420</b>    | LET                              | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop   |
| <b>LJ24</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1PW037      |
| <b>LJ25</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1PW037      |
| <b>LJ31</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001      |
| <b>LJ35</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001      |
| <b>LJ36</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001      |
| <b>LJ40</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001      |
| <b>LJ45</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1AS001      |
| <b>LJ55</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002      |
| <b>LJ60</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 7PW077      |
| <b>LJ75</b>    | LEARJET                          | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002      |
| <b>MD11</b>    | MCDONNELL DOUGLAS                | Landplane | Jet       | 3 | 2GE049      |
| <b>MD80</b>    | MCDONNELL DOUGLAS                | Landplane | Jet       | 2 | 4PW070      |

|               |                      |           |           |   |              |
|---------------|----------------------|-----------|-----------|---|--------------|
| <b>MD82</b>   | MCDONNELL DOUGLAS    | Landplane | Jet       | 2 | 4PW070       |
| <b>MD90</b>   | MCDONNELL DOUGLAS    | Landplane | Jet       | 2 | 1IA002       |
| <b>MU300</b>  | MITSUBISHI           | Landplane | Jet       | 2 | 1PW036       |
| <b>N24</b>    | GAF                  | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>P68</b>    | PARTENAVIA           | Landplane | Piston    | 2 | IO-360-A1B6  |
| <b>PA23</b>   | PIPER                | Landplane | Piston    | 2 | IO-540-T4A5D |
| <b>PA30</b>   | PIPER                | Landplane | Piston    | 2 | IO-320-DIAD  |
| <b>PA39</b>   | PIPER                | Landplane | Piston    | 2 | IO-320-DIAD  |
| <b>PA31</b>   | PIPER                | Landplane | Piston    | 2 | IO-550-B     |
| <b>PA34</b>   | PIPER                | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-360C    |
| <b>PZLM20</b> | PZL MIELEC           | Landplane | Piston    | 2 | TSIO-360C    |
| <b>PA31T</b>  | PIPER                | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>PA42</b>   | PIPER                | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>PC12</b>   | PILATUS              | Landplane | Turboprop | 1 | Turboprop    |
| <b>PC21</b>   | PILATUS              | Landplane | Turboprop | 1 | Turboprop    |
| <b>PC9</b>    | PILATUS              | Landplane | Turboprop | 1 | Turboprop    |
| <b>PRM1</b>   | RAYTHEON             | Landplane | Jet       | 2 | 1PW036       |
| <b>RA390</b>  | RAYTHEON             | Landplane | Jet       | 2 | 1PW036       |
| <b>SN601</b>  | AEROSPATIALE         | Landplane | Jet       | 2 | 1PW036       |
| <b>S2000</b>  | SAAB                 | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>SAB40</b>  | SABRELINER           | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>SAB60</b>  | SABRELINER           | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>SAB65</b>  | SABRELINER           | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>T39</b>    | SABRELINER           | Landplane | Jet       | 2 | 1AS002       |
| <b>SF340</b>  | SAAB                 | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>SD360</b>  | SHORT                | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>SJ30</b>   | FAIRCHILD SWEARINGEN | Landplane | Jet       | 2 | 1PW035       |
| <b>BE2000</b> | BEECHCRAFT           | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>SA26</b>   | FAIRCHILD SWEARINGEN | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>SA226</b>  | FAIRCHILD SWEARINGEN | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>SA227</b>  | FAIRCHILD SWEARINGEN | Landplane | Turboprop | 2 | Turboprop    |
| <b>TU134</b>  | TUPOLEV              | Landplane | Jet       | 2 | 1AA001       |
| <b>TU154</b>  | TUPOLEV              | Landplane | Jet       | 3 | 1AA004       |
| <b>TU204</b>  | TUPOLEV              | Landplane | Jet       | 2 | 13AA008      |
| <b>TU214</b>  | TUPOLEV              | Landplane | Jet       | 2 | 13AA008      |
| <b>TBM700</b> | TBM AEROSPATIALE     | Landplane | Turboprop | 1 | Turboprop    |
| <b>TBM850</b> | TBM AEROSPATIALE     | Landplane | Turboprop | 1 | Turboprop    |
| <b>YAK42</b>  | YAKOVLEV             | Landplane | Jet       | 3 | 1ZM001       |

## Anexo 5 – Emisiones aeroportuarias y rutas aéreas

Tabla 39: Emisiones aeroportuarias nacionales en toneladas al año para el 2015

| Ap./Ad.                        | CO [ton/año] |        | HC [ton/año] |       | NOX [ton/año] |        | PM2,5 [kg/año] |       | CO2 [ton/año] |        |
|--------------------------------|--------------|--------|--------------|-------|---------------|--------|----------------|-------|---------------|--------|
|                                | I            | N      | I            | N     | I             | N      | I              | N     | I             | N      |
| ALTO PALENA                    | 0,00         | 0,50   | 0,00         | 0,02  | 0,00          | 0,00   | 0              | 0     | 0             | 3      |
| ARTURO MERINO BENÍTEZ          | 388,35       | 285,17 | 64,26        | 53,96 | 554,88        | 362,21 | 2.940          | 2.633 | 116.010       | 84.329 |
| BALMACEDA                      | 0,08         | 15,20  | 0,03         | 2,69  | 0,02          | 16,42  | 1              | 102   | 8             | 3.854  |
| CABO 1° JUAN ROMÁN             | 0,00         | 1,59   | 0,00         | 0,04  | 0,00          | 0,00   | 0              | 0     | 0             | 5      |
| CAÑAL BAJO - CARLOS HOTT S.    | 0,00         | 18,62  | 0,00         | 1,25  | 0,00          | 4,54   | 0              | 33    | 0             | 1.143  |
| CAPITÁN FUENTES MARTÍNEZ       | 0,00         | 26,69  | 0,00         | 0,48  | 0,00          | 0,07   | 0              | 2     | 0             | 91     |
| CARRIEL SUR                    | 0,18         | 47,72  | 0,03         | 6,10  | 0,11          | 37,39  | 2              | 272   | 27            | 8.861  |
| CERRO MORENO                   | 0,78         | 82,70  | 0,14         | 15,31 | 0,85          | 91,85  | 6              | 617   | 205           | 22.065 |
| CHACALLUTA                     | 2,23         | 20,76  | 0,43         | 3,59  | 1,75          | 21,61  | 16             | 155   | 435           | 5176   |
| CHILE CHICO                    | 0,00         | 0,73   | 0,00         | 0,02  | 0,00          | 0,02   | 0              | 0     | 0             | 6      |
| COCHRANE                       | 0,00         | 6,53   | 0,00         | 0,09  | 0,00          | 0,02   | 0              | 0     | 0             | 26     |
| CURACAVÍ                       | 0,00         | 9,65   | 0,00         | 0,24  | 0,00          | 0,03   | 0              | 1     | 0             | 34     |
| DESIERTO DE ATACAMA            | 0,08         | 22,08  | 0,01         | 3,17  | 0,06          | 18,28  | 1              | 133   | 19            | 4.384  |
| DIEGO ARACENA                  | 12,98        | 56,70  | 2,32         | 8,16  | 13,45         | 49,65  | 91             | 359   | 3.369         | 11.896 |
| EL LOA                         | 0,21         | 39,02  | 0,06         | 6,49  | 0,09          | 59,34  | 2              | 476   | 32            | 13.251 |
| EL TEPUAL                      | 0,25         | 57,66  | 0,05         | 10,19 | 0,03          | 76,18  | 1              | 545   | 13            | 17.288 |
| EULOGIO SÁNCHEZ                | 0,00         | 132,37 | 0,00         | 3,69  | 0,00          | 0,41   | 0              | 11    | 0             | 452    |
| FUTALEUFÚ                      | 0,00         | 0,74   | 0,00         | 0,02  | 0,00          | 0,00   | 0              | 0     | 0             | 2      |
| GENERAL FREIRE                 | 0,00         | 36,81  | 0,00         | 1,01  | 0,00          | 0,10   | 0              | 3     | 0             | 122    |
| GRAL. BERNARDO O'HIGGINS       | 0,03         | 35,52  | 0,00         | 1,00  | 0,00          | 0,13   | 0              | 4     | 0             | 131    |
| GUARDIAMARINA ZAÑARTU          | 0,57         | 0,80   | 0,02         | 0,08  | 0,00          | 0,21   | 0              | 3     | 2             | 92     |
| LA ARAUCANÍA                   | 0,11         | 28,01  | 0,01         | 4,02  | 0,04          | 22,05  | 0              | 154   | 11            | 5.341  |
| LA FLORIDA                     | 0,18         | 38,76  | 0,04         | 5,90  | 0,13          | 30,24  | 2              | 205   | 36            | 7.538  |
| MARCEL MARCHANT                | 0,00         | 77,75  | 0,00         | 1,54  | 0,00          | 0,25   | 0              | 5     | 0             | 280    |
| MARÍA DOLORES                  | 0,00         | 11,10  | 0,00         | 0,64  | 0,00          | 0,21   | 0              | 15    | 1             | 112    |
| MATAVERI                       | 3,01         | 7,84   | 0,65         | 1,55  | 2,85          | 9,86   | 20             | 52    | 643           | 2.017  |
| MELINKA                        | 0,00         | 21,11  | 0,00         | 0,53  | 0,00          | 0,06   | 0              | 1     | 0             | 66     |
| MOCOPULLI                      | 0,00         | 2,85   | 0,00         | 0,45  | 0,00          | 2,54   | 0              | 16    | 1             | 587    |
| MUNICIPAL DE VITACURA          | 0,00         | 0,64   | 0,00         | 0,02  | 0,00          | 0,00   | 0              | 0     | 0             | 2      |
| NUEVO CHAITÉN                  | 0,00         | 4,49   | 0,00         | 0,09  | 0,00          | 0,02   | 0              | 0     | 0             | 17     |
| PICHOY                         | 0,00         | 7,57   | 0,00         | 1,36  | 0,00          | 6,27   | 0              | 44    | 0             | 1.596  |
| PRESIDENTE CARLOS I. DEL CAMPO | 1,49         | 55,06  | 0,25         | 4,64  | 1,26          | 31,09  | 11             | 266   | 309           | 7.154  |
| PUCÓN                          | 0,07         | 0,10   | 0,00         | 0,00  | 0,00          | 0,01   | 0              | 0     | 0             | 2      |
| QUELLÓN                        | 0,00         | 3,22   | 0,00         | 0,09  | 0,00          | 0,01   | 0              | 0     | 0             | 11     |
| RICARDO GARCÍA POSADA          | 0,00         | 2,92   | 0,00         | 0,20  | 0,00          | 0,81   | 0              | 17    | 0             | 330    |
| ROBINSON CRUSOE                | 0,00         | 1,21   | 0,00         | 0,08  | 0,00          | 0,01   | 0              | 1     | 0             | 10     |
| RODELILLO                      | 0,00         | 64,33  | 0,00         | 1,59  | 0,00          | 0,34   | 0              | 6     | 0             | 265    |
| SANTA BARBARA RUTA 7           | 0,00         | 0,15   | 0,00         | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0              | 0     | 0             | 1      |
| SANTO DOMINGO                  | 0,00         | 32,70  | 0,00         | 0,86  | 0,00          | 0,14   | 0              | 4     | 0             | 128    |
| TENIENTE VIDAL                 | 0,00         | 15,82  | 0,00         | 0,49  | 0,00          | 0,11   | 0              | 5     | 0             | 87     |

|                       |          |          |        |        |          |        |       |       |         |         |
|-----------------------|----------|----------|--------|--------|----------|--------|-------|-------|---------|---------|
| TTE. JULIO GALLARDO   | 0,04     | 0,84     | 0,01   | 0,08   | 0,02     | 0,06   | 0     | 1     | 6       | 30      |
| TTE. RODOLFO MARSH M. | 0,00     | 0,55     | 0,00   | 0,07   | 0,00     | 0,20   | 0     | 3     | 0       | 88      |
| VALLENAR              | 0,00     | 1,78     | 0,00   | 0,16   | 0,00     | 0,02   | 0     | 1     | 0       | 19      |
| VIÑA DEL MAR          | 0,15     | 22,85    | 0,01   | 0,83   | 0,06     | 0,42   | 1     | 11    | 20      | 200     |
| Total N/I             | 410,81   | 1.299,21 | 68,29  | 142,79 | 575,61   | 843,20 | 3.095 | 6.156 | 121.147 | 199.091 |
| Total                 | 1.710,01 |          | 211,08 |        | 1.418,80 |        | 9.251 |       | 320.238 |         |

Tabla 40: LTOs por rutas aéreas por destino (norte, sur) de AMB, según naves A319, A320, A321 y B763

| Ruta | Destino OACI | A319  | A320  | A321 | B763  |
|------|--------------|-------|-------|------|-------|
| N    | CYYZ         |       |       |      | 294   |
| S    | EGYP         |       | 81    | 2    |       |
| N    | KATL         |       |       |      | 724   |
| N    | KDFW         |       |       |      | 10    |
| N    | KIAH         |       |       |      | 730   |
| N    | KJFK         |       |       |      | 32    |
| N    | KMIA         |       |       |      | 1.143 |
| S    | LEMD         |       |       |      | 2     |
| N    | MDPC         |       |       |      | 22    |
| N    | MGGT         |       |       |      | 1     |
| N    | MMMX         | 14    | 5     |      | 729   |
| N    | MMUN         |       |       |      | 34    |
| N    | NTAA         |       |       |      | 73    |
| S    | SABE         | 193   | 1.992 |      |       |
| S    | SACO         | 67    | 897   | 2    |       |
| S    | SAEZ         | 2.968 | 2.409 | 4    | 831   |
| N    | SAME         | 227   | 1.485 | 18   | 6     |
| N    | SANT         |       |       |      | 2     |
| N    | SASA         |       | 33    |      |       |
| S    | SAWG         |       | 25    | 1    |       |
| S    | SAWH         |       | 6     |      |       |
| S    | SBBR         |       |       |      | 2     |
| S    | SBCB         | 30    |       |      |       |
| S    | SBCF         | 1     | 4     |      |       |
| S    | SBFI         | 9     | 6     |      |       |
| S    | SBFL         | 58    | 210   |      |       |
| S    | SBGL         | 301   | 1.970 |      |       |
| S    | SBGR         | 1.565 | 2.976 | 28   | 346   |
| S    | SBKP         |       |       |      | 140   |
| S    | SBPA         |       | 1     |      | 2     |
| N    | SBRF         |       |       | 5    | 2     |

|               |       |        |         |        |       |
|---------------|-------|--------|---------|--------|-------|
| N             | SCAR  | 1.505  | 2.411   | 361    |       |
| N             | SCAT  | 1.221  | 1.890   | 339    | 1     |
| S             | SCBA  | 387    | 2.626   | 6      |       |
| N             | SCCF  | 2.530  | 4.605   | 2.723  |       |
| S             | SCCI  | 483    | 3.338   | 1.118  |       |
| S             | SCCZ  |        | 1       |        |       |
| N             | SCDA  | 3.026  | 6.588   | 837    | 2     |
| N             | SCEL  | 16.518 | 40.042  | 7.618  | 533   |
| N             | SCFA  | 4.880  | 11.724  | 671    | 8     |
| S             | SCIE  | 1.958  | 3.955   | 805    |       |
| N             | SCIP  |        |         |        | 464   |
| S             | SCJO  | 239    | 633     |        |       |
| S             | SCPQ  |        | 449     |        |       |
| S             | SCQP  | 1.409  | 2.624   | 207    |       |
| N             | SCSE  | 2.295  | 3.733   | 10     |       |
| N             | SCTB  | 1      |         |        |       |
| S             | SCTE  | 2.269  | 9.016   | 1.921  | 2     |
| S             | SCVD  | 628    | 683     |        |       |
| N             | SEGU  | 615    | 154     |        | 1     |
| N             | SEQM  | 86     | 2       |        | 8     |
| N             | SGAS  | 4      | 418     |        | 4     |
| N             | SGES  |        |         |        | 1     |
| N             | SKBO  | 604    | 117     |        | 1.303 |
| N             | SKCG  |        |         |        | 1     |
| N             | SKRG  |        |         |        | 11    |
| N             | SLLP  | 207    | 624     |        |       |
| N             | SLOR  |        | 1       |        |       |
| N             | SLVR  |        | 312     |        |       |
| N             | SPIM  | 1.886  | 2.233   | 606    | 1.137 |
| N             | SPJC  | 418    | 317     | 162    | 151   |
| S             | SULS  |        | 3       |        |       |
| S             | SUMU  | 379    | 1.210   |        | 158   |
| S             | SVM I |        | 6       |        | 42    |
| N             | TJSJ  |        |         |        | 1     |
| Total general |       | 48.981 | 111.815 | 17.444 | 8.953 |

| RUTA | DESTINO OACI | A319  | A320  | A321  | B763  |
|------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| N    | CYYZ         |       |       |       | 295   |
| N    | KATL         |       |       |       | 727   |
| N    | KDFW         |       |       |       | 10    |
| N    | KIAH         |       |       |       | 733   |
| N    | KJFK         |       |       |       | 31    |
| N    | KMIA         |       |       |       | 1.146 |
| S    | LEMD         |       |       |       | 2     |
| N    | MDPC         |       |       |       | 21    |
| N    | MGGT         |       |       |       | 1     |
| N    | MMMX         |       |       |       | 730   |
| N    | MMUN         |       |       |       | 34    |
| S    | SABE         | 194   | 1.998 |       |       |
| S    | SACO         | 67    | 897   | 2     |       |
| S    | SAEZ         | 2.972 | 2.410 | 4     | 831   |
| N    | SAME         | 227   | 1.485 | 18    | 6     |
| N    | SANT         |       |       |       | 2     |
| N    | SASA         |       | 1     |       |       |
| S    | SAWH         |       | 6     |       |       |
| S    | SBBR         |       |       |       | 2     |
| S    | SBCB         | 30    |       |       |       |
| S    | SBCF         | 1     | 4     |       |       |
| S    | SBFJ         | 9     | 6     |       |       |
| S    | SBFL         | 58    | 205   |       |       |
| S    | SBGL         | 301   | 1.971 |       |       |
| S    | SBGR         | 1.565 | 2.978 | 28    | 346   |
| S    | SBKP         |       |       |       | 141   |
| S    | SBPA         |       | 1     |       | 2     |
| N    | SBRF         |       |       | 5     | 2     |
| N    | SCAR         | 670   | 1.468 | 317   |       |
| N    | SCAT         | 1.148 | 1.870 | 338   |       |
| S    | SCBA         | 3     | 809   |       |       |
| N    | SCCF         | 2.479 | 4.246 | 2.713 |       |
| S    | SCCI         | 25    | 1.980 | 513   |       |
| N    | SCDA         | 1.937 | 4.553 | 777   | 2     |
| N    | SCEL         | 24    | 30    | 7     | 61    |
| N    | SCFA         | 3.512 | 9.717 | 641   | 8     |

|              |      |        |        |       |       |
|--------------|------|--------|--------|-------|-------|
| <b>S</b>     | SCIE | 1.822  | 3.948  | 805   |       |
| <b>N</b>     | SCIP |        |        |       | 465   |
| <b>S</b>     | SCJO | 127    | 317    |       |       |
| <b>S</b>     | SCPQ |        | 1      |       |       |
| <b>S</b>     | SCQP | 1.406  | 2.621  | 205   |       |
| <b>N</b>     | SCSE | 1.531  | 2.744  | 8     |       |
| <b>S</b>     | SCTE | 1.447  | 5.350  | 1.308 | 2     |
| <b>S</b>     | SCVD | 421    | 411    |       |       |
| <b>N</b>     | SEGU | 616    | 154    |       | 1     |
| <b>N</b>     | SEQM | 86     | 2      |       | 8     |
| <b>N</b>     | SGAS | 4      | 417    |       | 4     |
| <b>N</b>     | SGES |        |        |       | 1     |
| <b>N</b>     | SKBO | 604    | 118    |       | 1.303 |
| <b>N</b>     | SKRG |        |        |       | 11    |
| <b>N</b>     | SLLP |        | 9      |       |       |
| <b>N</b>     | SPIM | 1.885  | 2.233  | 608   | 1.139 |
| <b>N</b>     | SPJC | 392    | 317    | 162   | 151   |
| <b>S</b>     | SULS |        | 3      |       |       |
| <b>S</b>     | SUMU | 379    | 1.207  |       | 158   |
| <b>S</b>     | SVMI |        | 2      |       | 42    |
| <b>N</b>     | TJSJ |        |        |       | 1     |
| <b>Total</b> |      | 25.942 | 56.489 | 8.459 | 8.419 |