

**Universidad Tecnológica Nacional**

**Facultad Regional Tucumán**

**Escuela de Posgrado**

**Especialización en Ingeniería Ambiental**

**ESTIMACION DE EMISIONES EN LOS CICLOS DE  
DESPEGUE Y ATERRIZAJE DE LAS AERONAVES EN EL  
AEROPUERTO TENIENTE GENERAL BENJAMIN  
MATIENZO DE TUCUMAN**

**Ing. Roberto Edgardo Frias**

Trabajo de Tesis para optar al Grado Académico Superior de  
Especialista en Ingeniería Ambiental

Tutor: Esp. Ing. Marcos Antonio Golato

**San Miguel de Tucumán**

**Año 2020**

## **Agradecimientos**

Quiero dar gracias a Dios, por darme la voluntad, la guía y la fortaleza para culminar este desafío en mi carrera profesional. A mi familia que me apoyó en todo momento.

Mi más sincero agradecimiento:

Al ingeniero Marcos Golato, mi tutor, por su ayuda y colaboración en cada momento de consulta y asesoramiento técnico.

Al doctor Sebastián Diez, por el soporte a y la buena disposición ante dudas que surgieron.

Al Mg Oscar Graieb, por el acompañamiento para mantenerme firme y no decaer durante la elaboración de este trabajo.

A la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán

Al Departamento de Posgrado

## Resumen

La aviación ha experimentado un rápido incremento en su actividad a medida que la economía creció a nivel mundial y a la mayor oferta de este medio de transporte, en consecuencia, los aportes de contaminantes a la atmosfera de la actividad aérea en los aeropuertos también crecieron.

Este trabajo tiene como finalidad la estimación de las emisiones de gases contaminantes que generan las operaciones de despegue y aterrizaje en el aeropuerto internacional Teniente General Benjamín Matienzo de Tucumán para el año 2018.

Se tomó como guía la metodología propuesta por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Esta metodología incluye tres niveles para la elaboración de inventarios.

El nivel 1 es una metodología simplificada en la cual se necesitan precisar la cantidad de combustibles vendido a las aeronaves, distinguir entre vuelos de cabotaje e internacionales y el número de ciclos LTO, tomando un tipo de aeronave genérica. En base a estos datos se hace un cálculo estimando de las emisiones producidas

En el nivel 2 se precisa la cantidad de combustible vendido a las aeronaves, distinguir entre vuelos de cabotaje e internacionales, el número de ciclos LTO, teniendo en cuenta el tipo de aeronave utilizada tanto para vuelos de cabotaje como para internacionales. Con estos datos realizamos el cálculo para estimar las emisiones.

La metodología de nivel 3 se basa en datos reales del movimiento de vuelo, conociendo origen, destino e información de trayectoria de vuelo.

Se trabajó con la metodología de nivel 1, adoptando factores de emisión genéricos y aeronaves representativas, para un total de 9.149 movimientos de los cuales 8.012 correspondieron a vuelos nacionales y 1.137 a vuelos internacionales, según EANA.

Los resultados obtenidos corresponden a las toneladas por año de los principales contaminantes emitidos por los aviones en las maniobras de despegue y aterrizaje, que son: NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>2,5</sub>, MNVOC, N<sub>2</sub>O, C<sub>2</sub>O, S<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>.

La estimación de las emisiones, debido a la actividad de los aviones, en la estación aeronáutica fueron de 29.465,73 tn de CO<sub>2</sub>, 0,99 tn de CH<sub>4</sub> y 1,06 tn de N<sub>2</sub>O, estos tres son los responsables del efecto invernadero y representan el 99% del total de emisiones. Los valores obtenidos para el SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> fueron de 9,28 tn y 112,39 tn respectivamente, responsables de la lluvia ácida. También se obtuvieron para el CO 113,77 tn, para MNVOC 5,47 tn y PM<sub>2,5</sub> 0,83 tn.

Los resultados fueron comparados con tres trabajos, uno realizado en el año 2013 sobre las emisiones en los aeropuertos más importantes de Argentina, el otro fue sobre las emisiones de GEI en el aeropuerto de Córdoba para el año 2016 y por último con un

trabajo de estimación de emisiones sobre el sector del transporte aéreo en Chile en el año 2015. En general los resultados de estas comparaciones se encuentran dentro de rangos aceptables.

Con respecto a la cantidad de contaminantes emitidos al medioambiente, los valores estimados, se encuentran por debajo de los umbrales indicados por el reglamento 166/2006 de Parlamento Europeo.

**Palabras clave:** contaminación, GEI, aviones, calidad del aire, ciclo de despegue/aterrizaje.

## **Acrónimos**

OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
ORSNA	Organismo Regulador del Sistema Nacional de Aeropuertos
AA2000	Aeropuertos Argentina 2000
ANAC	Administración Nacional de Aviación Civil
EANA	Empresa Argentina de Navegación Aérea
EPA	Environmental Protection Agency
GEI	Gases de efecto invernadero
SAO	Sustancias agotadoras de la capa de ozono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
NMVOC	Non-methane volatile organic compounds
CH <sub>4</sub>	Metano
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
PM <sub>2,5</sub>	Partículas de diámetro menor a 2,5 micrómetros
LTO	Landing Take-Off
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
IATA	International Air Transport Association
PCBs	polychlorinated biphenyls
RPK	Pasajeros por kilómetros transportados
SIAC	Sistema Integrado de Aviación Civil
GSE	Equipos auxiliares de tierra
VOC	Compuestos orgánicos volátiles
HC	Hidrocarburos
O <sub>3</sub>	Ozono
PM	Material particulado
FE	Factor de emisión
EEA	European Environment Agency
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
CORINAIR	Core inventory of air emissions
IPCC	Panel intergubernamental del cambio climático
mn	millas náuticas

# Índice

1-INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 Objetivos y Alcance .....	2
1.3 Ubicación y contexto del aeropuerto.....	2
Figura 1.1: Predio del Aeropuerto Internacional de Tucumán y área concesionada.....	3
1.4 Normativa vigente.....	4
1.4.1 A nivel internacional .....	4
1.4.2 A nivel local .....	6
2-SITUACIÓN DE TRANSPORTE AÉREO.....	8
2.1-Nivel mundial.....	8
2.2-Nivel local.....	8
3-IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD AERONÁUTICA.....	9
3.1-Efecto local.....	9
3.2-Efecto global.....	10
3.3-Contaminación de aire.....	10
4-NIVELES ADECUADOS DE EMISIONES Y EFECTOS EN LA SALUD.....	12
4.1 - Monóxido de Carbono (CO).....	12
4.2 - Ozono (O <sub>3</sub> ).....	12
4.3 - Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....	12
4.4 - Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ).....	12
4.5 - Partículas (PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub> ).....	13
5 – CICLOS DE VUELO DE UN AVIÓN .....	13
5. 1 El ciclo LTO (Landing Take Off).....	14
5.2 El crucero.....	14
6-FASES DE ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES EN UN AEROPUERTO.....	15
7- MATERIALES Y MÉTODOS .....	15

7.1 Fase 1: Recopilación de datos.....	16
7.1.1 Aeronaves.....	16
7.1.2 Vehículos de asistencia en tierra.....	17
7.2 Fase 2: Análisis de datos.....	18
7.2.1 Aeronaves.....	18
7.2.2 Vehículos de asistencia en tierra.....	20
7.3 Fase 3: Metodología de cálculo.....	21
7.3.1 Aeronaves.....	22
7.3.2 Vehículos de asistencia en tierra.....	26
7.4 Fase 4: Presentación de resultados.....	28
8-Metodología para la estimación de emisiones.....	28
9-Resultados y discusiones.....	33
9.2 Discusión de los resultados.....	35
10-Conclusiones.....	40
Bibliografía.....	42
ANEXO I.....	46
Anexo II.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Predio del Aeropuerto Internacional de Tucumán y área concesionada.....	3
Figura 1.2: Variación pasajeros embarcados y desembarcados 2018 vs 2015 por aeropuerto .....	4
Figura 1.3: Línea de tiempo de hitos nacionales e internacionales .....	7
Figura 2.1: Evolución del número de pasajeros desde 2001 a 2018.....	9
Figura 5.1: Ciclos de vuelo de un avión .....	14
Figura 7.1: Diagrama de flujo para la elección de metodología de investigación.....	19
Figura 7.2: distancia ortodrómica.....	24
Figura 8.1: Porcentaje de movimientos de aeronaves en el aeropuerto de Tucumán para el año 2018.....	32
Figura 8.2: Destinos internacionales de los vuelos que partieron del aeropuerto de Tucumán .....	33
Figura 9.1: Emisiones totales en Tn/año .....	35
Figura 9.2: Emisiones anuales de CO <sub>2</sub> en ciclos LTO en los principales aeropuertos de la Argentina, año 2013.....	36
Figura 9.3 emisiones anuales de NO <sub>x</sub> en los ciclos LTO en los principales aeropuertos de la Argentina, año 2013.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Niveles guía de contaminantes de calidad del aire.....	13
Tabla 6.1: Porcentaje de emisión global de contaminantes según fuente de emisión. Los contaminantes considerados fueron: CO, HC, NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> y PM <sub>10</sub> . .....	15
Tabla 7.1: Metodologías .....	18
Tabla 7.2: Contaminantes que emiten los vehículos de asistencia en tierra.....	26
Tabla 8.1: Factores de emisión y combustible usado para la metodología de nivel 1 ( <i>tier 1</i> ), el tipo de combustible es queroseno jet.....	29
Tabla 8.2: Movimiento en el aeropuerto teniente Benjamín Matienzo de Tucumán del año 2018 .....	31
Tabla 9.1: emisiones producidas por el B737-400 durante 2018 en el aeropuerto de Tucumán para vuelos internacionales de corta distancias (menores a 1000 mn).....	33
Tabla 9.2: emisiones estimadas para el B737-400 durante 2018 en el aeropuerto de Tucumán para vuelos internacionales de larga distancias (mayores a 1000 mn).....	33
Tabla 9.3: total de emisiones para vuelos internacionales y para cada contaminante atmosférico .....	34
Tabla 9.4: Emisiones en el ciclo LTO en el aeropuerto de Tucumán .....	34
Tabla 9.5: resultado del estudio comparativo entre el año 2013 y 2018 de los contaminantes CO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> .....	37
Tabla 9.6: resultado del estudio comparativo entre las emisiones del aeropuerto de Córdoba y Tucumán de los contaminantes CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O.....	38
Tabla 9.7: resultado del estudio comparativo entre las emisiones del aeropuerto de La Araucanía y Tucumán para los contaminantes CO, NO <sub>x</sub> , PM <sub>2,5</sub> y CO <sub>2</sub> , para vuelos nacionales .....	38
Tabla 9.8: resultado del estudio comparativo entre las emisiones del aeropuerto de La Araucanía y Tucumán para los contaminantes CO, NO <sub>x</sub> , PM <sub>2,5</sub> y CO <sub>2</sub> , para vuelos internacionales.....	39
Tabla 9.9: fragmento del anexo II del reglamento (CE) No 166/2006 del Parlamento Europeo.....	39

Tabla 10.1: Total de emisiones para el año 2018 en tn/año .....	40
---	----

## 1-INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad estimar la contribución total de emisiones en el ciclo de despegue y aterrizaje de aeronaves en el aeropuerto internacional Teniente General Benjamín Matienzo de Tucumán, Argentina, en el periodo de un año. Así también, describir la metodología publicada por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para la elaboración de un inventario de los contaminantes atmosféricos para una terminal aérea, los ciclos de vuelo de un avión y las emisiones producidas en los aeropuertos. La metodología propuesta se encuentra basada en los parámetros y registros obtenidos de los distintos organismos que controlan y administran el aeropuerto como ser ORSNA (Organismo Regulador del Sistema Nacional de Aeropuertos), AA2000 (Aeropuertos Argentina 2000), ANAC (Administración Nacional de Aviación Civil), EANA (Empresa Argentina de Navegación Aérea), entre otros.

### **¿Qué es un inventario de emisiones?**

Un inventario de emisiones atmosféricas es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados (EPA, 1999a).

Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, ya que son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire.

Este debe ser completo y preciso, en la medida de las posibilidades técnicas disponibles y de acuerdo con los objetivos planteados. Estas dos características son importantes, ya que la información obtenida se convierte en la base para la determinación de estrategias de control y normas nacionales, entre otros. Cualquier error en ellas podría conllevar a resultados no deseados de las estrategias formuladas. El inventario de emisiones debe mejorar estas características en la medida en que se hace dinámico y se ajusta y complementa de forma periódica. (Varón, 2017, Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones, MINAMBIENTE, Gobierno de Colombia)

### **Objetivo de un inventario**

El objetivo general de un inventario de emisiones atmosféricas es cuantificar las emisiones generadas por un grupo de fuentes o actividades de interés.

Informar y orientar a los actores de interés, en la toma de decisiones relacionadas con la protección del ambiente y promoción de la salud.

Formular y evaluar estrategias para la prevención y control de la contaminación del aire (p. ej.: programas de descontaminación).

Evaluar el desempeño ambiental en materia de emisiones atmosféricas de una actividad, sector o región, entre otros. Diseñar sistemas de vigilancia de calidad del aire.

Adicionalmente, los inventarios de emisiones atmosféricas son una herramienta para la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO); la cual es necesaria para la formulación y seguimiento de las estrategias de mitigación, reporte de avances en el cumplimiento de los acuerdos internacionales y comercio de derechos de emisión. (Varón, 2017, Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones, MINAMBIENTE, Gobierno de Colombia)

## **1.2 Objetivos y Alcance**

### **Objetivo General**

Estimar las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, PM<sub>2,5</sub> en los ciclos de aterrizaje y despegue de las aeronaves en el aeropuerto internacional Teniente General Benjamín Matienzo de Tucumán, Argentina.

### **Objetivos Específicos**

Se plantean para este trabajo los siguientes objetivos específicos:

- Describir la metodología publicada por OACI para la elaboración de inventario de emisiones en aeropuertos.
- Identificar las fuentes de emisión de contaminantes a la atmosfera que intervienen en las operaciones de los aeropuertos.
- Indicar los tipos de gases que emiten las turbinas de los aviones en la etapa de vuelo LTO.

### **Alcance**

En el siguiente trabajo de tesis no se consideran las emisiones realizadas por los transportes que acceden al aeropuerto, playa de estacionamiento, fuentes estacionarias y practicas contra incendios.

Este estudio se concentrará en la escala local inmediata, ya que busca caracterizar el entorno para definir las servidumbres gaseosas.

## **1.3 Ubicación y contexto del aeropuerto**

El aeropuerto internacional Teniente General Benjamín Matienzo es la única estación aeroportuaria de la provincia de Tucumán, donde se concentra todo el tráfico aerocomercial que opera en la provincia. Se encuentra ubicada en la localidad de Cevil Pozo, en la comuna de Delfín Gallo, a unos 9 kilómetros al este del centro de San Miguel de Tucumán.

El predio aeroportuario comprende 520 hectáreas de las cuales el 100% se encuentran concesionadas por el Estado Nacional a Aeropuertos Argentina 2000 S.A. El límite del aeropuerto posee un perímetro de más de 13 kilómetros. Posee una única pista, la 01/19 (2900 m x 45 m), una pasarela telescópica, una plataforma comercial de pasajeros y un hangar perteneciente al Gobierno de la Provincia de Tucumán.

Figura 1.1: Predio del Aeropuerto Internacional de Tucumán y área concesionada.

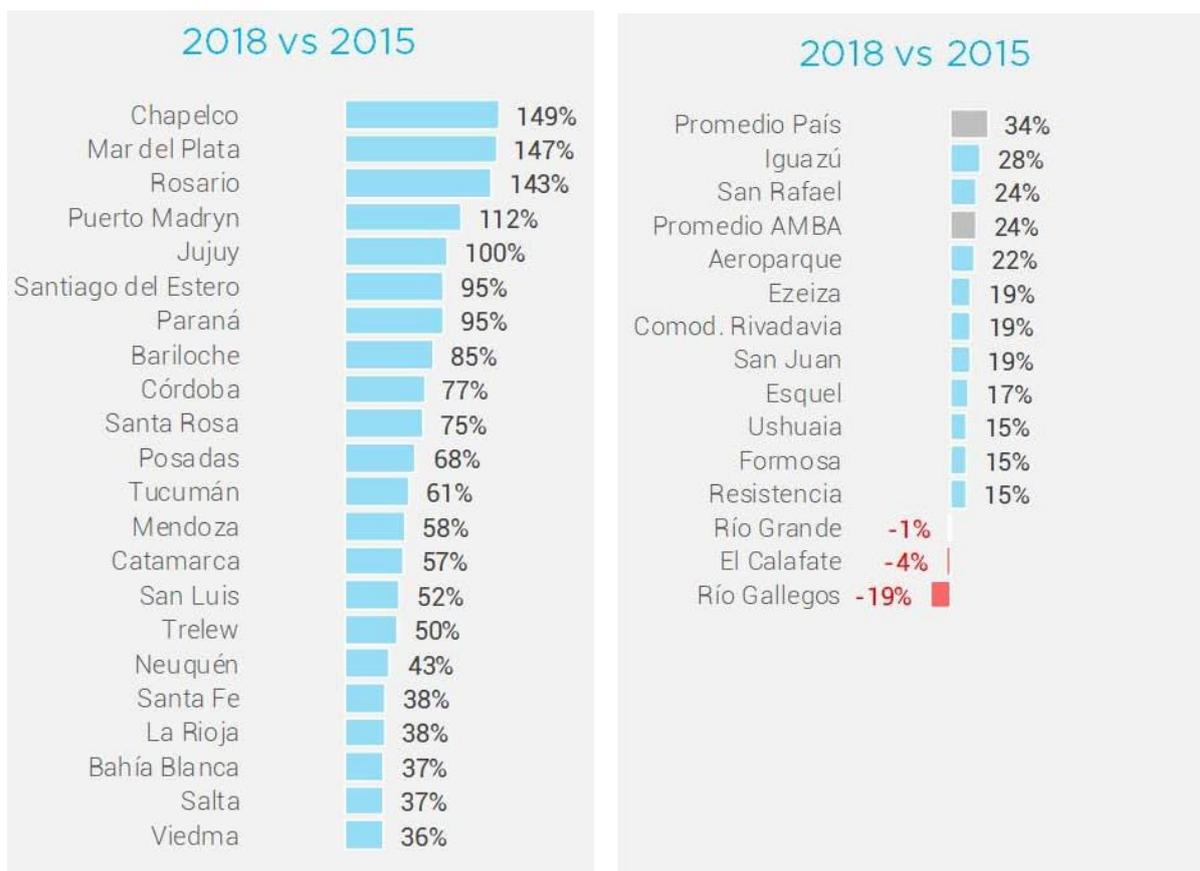


Fuente: Google Earth

Este aeropuerto tiene gran importancia a nivel nacional como aeropuerto carguero, con vuelos a Lima y Santiago de Chile, transportando la producción tucumana de arándanos y otras frutas finas, como así también otros productos de exportación, inclusive maquinaria de producción local de partes de automotores de Scania.

Actualmente con a la apertura de nuevas rutas aéreas internacionales y domésticas, el número de vuelos, ingreso y egreso de vehículos con pasajeros al aeropuerto se incrementó considerablemente. Comparando la cantidad de pasajeros embarcados y desembarcados de 2015 vs 2018 hubo un incremento del 61% mucho mayor que la media nacional que fue del 34% (Anuario Estadístico 2018 ANAC) como se muestra en la figura 1.3.

Figura 1.2: Variación pasajeros embarcados y desembarcados 2018 vs 2015 por aeropuerto



Fuente: Anuario Estadístico 2018 ANAC

## 1.4 Normativa vigente

En el esfuerzo por reducir el impacto, de las actividades del hombre, en el medio ambiente, organismos internacionales indicaron acciones a seguir y normas para la reducción de emisiones antropogénicas en la atmósfera. Ellas son:

### 1.4.1 A nivel internacional

#### Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

El sistema de las Naciones Unidas está a la vanguardia de los esfuerzos para salvar nuestro planeta. En 1992, la Cumbre para la Tierra dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como primer paso para afrontar el problema. Hoy en día cuenta con una composición casi universal. Un total de 197 países han ratificado la Convención, convirtiéndose en partes de esta. El objetivo final de la Convención es prevenir una interferencia humana "peligrosa" con el sistema climático.

## **Protocolo de Kyoto**

En 1995 los países iniciaron las negociaciones para fortalecer la respuesta mundial al cambio climático y, dos años después, adoptaron el Protocolo de Kyoto. Este obliga jurídicamente a los países desarrollados que son parte para cumplir unas metas de reducción de las emisiones. El primer período de compromiso del Protocolo comenzó en 2008 y finalizó en 2012. El segundo período de compromiso empezó el 1 de enero de 2013 y terminará en 2020. Hoy en día hay 197 Partes en la Convención y 192 en el Protocolo de Kyoto.

## **Acuerdo de París**

En la 21ª Conferencia en París el 2015, las Partes en la CMNUCC alcanzaron un acuerdo histórico con el objetivo de combatir el cambio climático y acelerar e intensificar las acciones y las inversiones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. El Acuerdo de París se basa en la Convención y, por primera vez, agrupa a todas las naciones bajo una causa común: realizar ambiciosos esfuerzos con el objetivo de combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos, con mayor apoyo para ayudar a los países en desarrollo a que lo hagan. De esta manera, define un nuevo camino en el esfuerzo climático a nivel mundial.

## **Otros organismos internacionales**

IATA, la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (sus siglas en inglés, IATA) es una asociación que representa al 83% del tráfico aéreo total. Entre sus objetivos para combatir el cambio climático tiene los siguientes:

- Mejora media del rendimiento de los combustibles del 1.5% anual entre los años 2009 y 2020.
- Un límite en la emisión de CO<sub>2</sub> desde el 2020. A partir de ese año, deberá haber un crecimiento neutro, es decir, aunque crezca el volumen del transporte aéreo, no deben crecer las emisiones.
- Una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 50% para el año 2050, sobre el total de las emisiones de la aviación con referencia al año 2005.

Para cumplir estos objetivos, propone una estrategia basada en cuatro pilares:

- Desarrollo de la tecnología, incluyendo el desarrollo de combustibles bajos en carbono.
- Realización de operaciones de vuelo más eficientes.
- Mejoras en las infraestructuras, incluyendo la modernización de los sistemas de control de tráfico aéreo.
- Medidas basadas en un mercado único global.

### 1.4.2 A nivel local

Argentina con la reforma de la Constitución Nacional de 1994 consagra expresamente la protección del medio ambiente:

- El artículo 41 establece que: “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.”

A partir de los lineamientos establecidos en la Constitución Nacional y en los tratados internacionales ratificados sobre la protección del medio ambiente, Argentina cuenta con leyes nacionales que regulan diversos aspectos relacionados con estos asuntos, entre las que cabe destacar.

- La Ley 25.675 denominada Ley General del Ambiente establece: “Presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.
- Ley 25.612, regula la gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios.
- Ley 25.670, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de los PCBs, en todo el territorio de la Nación en los términos del artículo 41 de la Constitución Nacional.
- Ley 25.688, establece el “Régimen de Gestión Ambiental de Aguas” consagra los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.
- Decreto 681/81. Decreto reglamentario sobre la conservación de los suelos.
- Decreto 265/96, reglamenta la aplicación del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan capa de ozono.
- Ley 25.831, establece el libre acceso a la información pública ambiental. Esta ley establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar el derecho de acceso a la información ambiental que se encuentre en poder del Estado, tanto en el ámbito nacional como

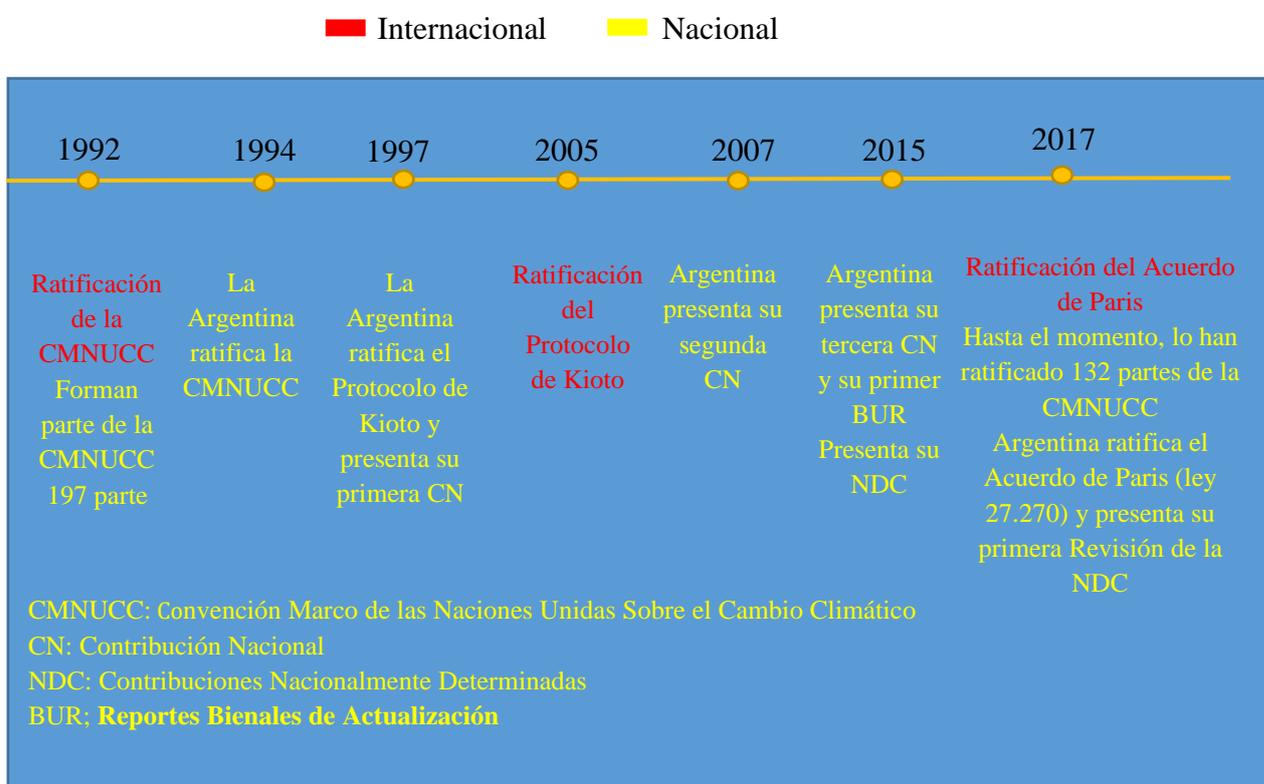
provincial, municipal y de la Ciudad de Buenos Aires, como así también de entes autárquicos y empresas prestadoras de servicios públicos, sean públicas, privadas o mixtas.

### Gabinete Nacional de Cambio Climático

En 2016 se creó por decreto presidencial N° 891/16 el Gabinete Nacional de Cambio Climático, bajo la órbita de Jefatura de Gabinete de Ministros. El Gabinete Nacional agrupa a 12 ministerios y tiene como objetivo el diseño de políticas públicas consensuadas, con una mirada estratégica para reducir las emisiones de GEI y generar respuestas coordinadas para la adaptación de sectores vulnerables a los impactos del cambio climático. Asimismo, promueve el fortalecimiento de capacidades y la concientización de la sociedad en la materia.

El Gabinete Nacional apoyó el proceso de firma y ratificación del Acuerdo de París y lideró el proceso de revisión de la Contribución Nacional durante el año 2016.

Figura 1.3: Línea de tiempo de hitos nacionales e internacionales



Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable

## 2-SITUACIÓN DE TRANSPORTE AÉREO

### 2.1-Nivel mundial

El transporte aéreo ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas. En 2.018 los servicios aéreos regulares a nivel mundial transportaron un total de 4.300 millones de pasajeros, registrando un incremento del 6,1% respecto de 2.017. El número de salidas alcanzó los 38 millones en todo el mundo y el tráfico de pasajeros, expresados como total de pasajeros por kilómetros transportados (RPK) en los servicios regulares, se ubicó en los 8.200 millones con un marcado aumento del 6,7% que no alcanzó, sin embargo, a equiparar el 7,9% logrado en 2017 (informe preliminar del 31 de diciembre de 2018 de la OACI).

Este crecimiento se ve limitado por el mantenimiento de la seguridad y por la disponibilidad de infraestructura, pero a mediano plazo el impacto ambiental puede convertirse en el principal factor limitador, por lo menos en los países más desarrollados. El impacto ambiental relacionado a las actividades del modo de transporte aéreo presenta características específicas que la diferencia de los otros modos de transporte, las cuales se pueden detallar en cuatro aspectos, que son:

- Extenso alcance geográfico tanto en las superficies terrestres como en las capas altas de la atmosfera.
- Efectos locales que están concentrados alrededor de los aeropuertos.
- Las reglas generales de las normas de protección ambiental son uniformes a nivel mundial, aunque su aplicación puede variar en el ámbito local.
- El impacto global de la actividad aeronáutica es comparativamente pequeña relacionada a otras actividades del hombre, pero tiene mucha visibilidad.  
(Rodrigo, et al, 2012, El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo)

### 2.2-Nivel local

La actividad aerocomercial en Argentina, en sintonía con el ritmo a nivel global, experimentó un incremento en el número de vuelos, en especial en los últimos años, por la apertura de nuevas rutas aéreas y por la oferta de pasajes bajo costo de algunas empresas. El año 2018 cerró como el mejor año de la historia en término de pasajeros transportados en vuelos regulares, tanto a nivel doméstico como internacional: en total 29,3 millones de pasajeros utilizaron servicios comerciales y privados. En detalle los pasajeros de cabotaje sumaron 14,2 millones, mientras que los pasajeros de vuelos internacionales superaron los 15 millones, (Anuario Estadístico 2018 ANAC). En el siguiente gráfico se muestra la evolución del número de pasajeros desde el año 2001 hasta 2018.

Figura 2.1: Evolución del número de pasajeros desde 2001 a 2018



Fuente: Anuario Estadístico 2018 ANAC

Aeroparque, Córdoba, Mendoza, Bariloche, Iguazú, Salta, Neuquén, Tucumán, Bahía Blanca, Rosario, Posadas, Formosa y Santiago del Estero registraron en julio el máximo valor histórico en términos de pasajeros de cabotaje arribados a la terminal. Además, el 23 de julio hubo 50.700 pasajeros en vuelos de cabotaje, máximo histórico de movimientos diarios (Según datos estadísticos elaborados por la Empresa Argentina de Navegación Aérea (EANA), a partir del Sistema Integrado de Aviación Civil (SIAC)).

En la provincia de Tucumán esta actividad ha experimentado un marcado aumento en los últimos años, en sintonía con la tendencia a nivel mundial. En consecuencia, el tráfico de vehículos de transporte para ingreso y egreso de pasajeros aumentó, el número de despegues y aterrizajes en el aeropuerto también se incrementó, así como el tráfico de los GSE (equipos auxiliares de tierra), lo cual trae consigo un aumento en los aportes de emisiones a la atmosfera de GEI.

El impacto al medioambiente relacionado a la actividad en esta estación aeronáutica es la misma que la detallada con anterioridad a nivel mundial.

### 3-IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD AERONÁUTICA

Los tipos de impacto ambiental del transporte aéreo se pueden clasificar como de efecto local y de efecto global, en función de su alcance

#### 3.1-Efecto local

- Ruido, las principales fuentes de ruido en las maniobras de las aeronaves son los causados por las turbinas, el ruido aerodinámico y el del tren de aterrizaje.

- Emisiones de gases que deterioran la calidad del aire en el entorno de los aeropuertos.
- Afección paisajista, debido a la modificación del entorno que son necesarias para las operaciones aeroportuarias.

### 3.2-Efecto global

- Consumo de materias primas no renovables, principalmente queroseno, combustible derivado del petróleo, también algunos metales escasos, como el titanio utilizado en el fuselaje de los aviones.
- Uso del espacio.
  - El transporte aéreo necesita:
    - Suelo para infraestructura.
    - Espacio aéreo para vuelos.
    - Una fracción del espectro radioeléctrico para las comunicaciones
  - Los principales impactos ambientales del uso de estos espacios son:
    - Degradación de los ecosistemas por su adaptación al uso aeronáutico.
    - Contaminación acústica.
    - Contaminación de suelos y la capa freática por los vertidos de las actividades aeroportuarias.
    - Contaminación o desvío del drenaje natural.
    - Impacto paisajístico global.
    - Interferencia con las rutas de aves migratorias en algunas rutas de ascenso y aproximación
- Contribución al calentamiento terrestre por emisión de gases de efecto invernadero.

**Nota:** luego de detallar los impactos ambientales ocasionados por la actividad aeroportuaria cabe aclarar que este trabajo está enfocado solo a las emisiones de gases que modifican la calidad del aire en la atmosfera a nivel local.

### 3.3-Contaminación de aire

Por contaminación del aire se entiende el aire que contiene uno o más de los contaminantes que pueden poner en peligro la salud, seguridad o bienestar de las

personas, impedir el gozo normal de la vida o de la propiedad, poner en peligro la salud de la vida animal, o ser perjudiciales para las plantas o las propiedades.

La contaminación del aire es un problema grave en la mayoría de los países, especialmente en áreas urbanas y densamente pobladas.

Los contaminantes de aire por lo general contienen:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),
- Monóxido de carbono (CO),
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>),
- Compuestos orgánicos volátiles (VOC),
- Hidrocarburos (HC)
- Ozono (O<sub>3</sub>).
- Material particulado (PM)

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se produce al oxidarse el carbono que contiene el combustible, mientras que el monóxido de carbono (CO) tiene su origen en la quema incompleta de los combustibles de hidrocarburo. Los óxidos de nitrógeno resultan de la combinación a grandes temperaturas del nitrógeno y el oxígeno (principalmente NO y NO<sub>2</sub>) en los motores de las aeronaves y en los lugares de combustión interna. Los compuestos orgánicos volátiles (VOC) que surgen directamente de la combustión, algunos se consideran carcinogénicos, y el contacto prolongado con los VOC puede ser nocivo para la salud. Los hidrocarburos (HC) abarcan una gama extensa de hidrocarburos puros e impuros (metano, olefinas, aldehídos, ketones y terpenos) que se producen durante el aprovisionamiento del combustible y cuando la quema es incompleta. El ozono (O<sub>3</sub>) es principalmente un subproducto de las reacciones fotoquímicas y se sabe que desempeña un papel importante en la química de los NO<sub>x</sub> y de los HC. Es un gas estimulante que causa molestias tales como la irritación de nariz, ojos y garganta, además de problemas respiratorios, y tiene asimismo efectos nocivos en la vida vegetal y animal.

La contaminación del aire causado por los aeropuertos resulta de:

- las emisiones de los motores de las aeronaves cuyo principal contaminante son los NO<sub>x</sub>, además del CO, los hidrocarburos no quemados y el humo.
- las emisiones que producen las centrales de calefacción/energía y los incineradores, así como los incendios que se provocan a propósito para entrenar a las tripulaciones de salvamento y extinción de incendios.
- las emisiones de los vehículos motorizados, principalmente los que usan los explotadores del aeropuerto, las líneas aéreas y otras empresas que tienen su base en el aeropuerto.
- las emisiones que produce el tráfico de acceso, lo que comprende los vehículos que conducen los pasajeros y visitantes, los camiones de carga y entregas y los vehículos de transporte público.

La caracterización de aportes contaminantes gaseosos se realiza en diferentes escalas, desde la local (entorno aeroportuario inmediato: 30 km de radio a partir de un punto de referencia) hasta la global (a través de la circulación atmosférica: miles de kilómetros).

#### **4-NIVELES ADECUADOS DE EMISIONES Y EFECTOS EN LA SALUD**

A continuación, se exponen las concentraciones máximas recomendadas por la OMS, así como los límites establecidos por la legislación local de los gases y partículas habitualmente analizadas y los problemas que pueden causar altas exposiciones a estos gases y partículas.

##### **4.1 - Monóxido de Carbono (CO).**

Es un gas altamente tóxico por su afinidad con la hemoglobina. Inhalado, sustituye al oxígeno en la hemoglobina, produciendo en altas concentraciones asfixia celular, y requiriendo de la inhalación de oxígeno puro a alta presión para contrarrestar sus efectos.

La exposición de gas a la que se recomienda como seguro es de  $55\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (50 ppm). A partir de 100ppm (0.01% de concentración en el aire) las exposiciones prolongadas pueden ser peligrosas.

##### **4.2 - Ozono (O<sub>3</sub>)**

La exposición al ozono provoca irritación en el sistema respiratorio, así como exposiciones prolongadas provocan asma, bronquitis crónicas y problemas cardiopulmonares.

Actualmente está regulado en la Unión Europea con unos límites de concentración de  $120\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  medido en periodos de 8 horas, pero las directrices de la OMS recomiendan que este límite sea de  $100\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

##### **4.3 - Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

El NO<sub>2</sub> es un gas tóxico, irritante y cuyas exposiciones a altos niveles provocan daños en las células pulmonares. Además, es un precursor en la formación de nitratos, que después forman ácidos y partículas PM<sub>2.5</sub>. También es uno de los gases responsables de la lluvia ácida, por la formación de ácido nítrico al disolverse en agua. Existen estudios que vinculan al NO<sub>2</sub> con una mayor respuesta alérgica a los pólenes inhalados.

La Unión Europea establece un límite medido a una hora de  $200\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , en concordancia con las directrices de la OMS.

##### **4.4 - Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

Es un gas irritante y tóxico, principal causante de la lluvia ácida. Provoca efectos similares al NO<sub>2</sub>: irritaciones y bronquitis, y está vinculado también a nacimientos prematuros.

Actualmente se toma como valor máximo de exposición según las directrices de la OMS de 7.5ppm en 24 horas, que equivale a 20µg·m<sup>-3</sup> y a 5 minutos de 500µg·m<sup>-3</sup>. Se considera como valor letal una exposición a 100ppm (262mg·m<sup>-3</sup>).

#### 4.5 - Partículas (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>)

La exposición crónica a las partículas menores de 10µm provoca riesgos elevados de desarrollo de cardiopatías, neumopatías y cáncer de pulmón. La contaminación con partículas conlleva riesgos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones, observándose daños a la salud a cualquier umbral.

La OMS fija unos valores recomendados de 25µg·m<sup>-3</sup> de media en 24 horas para PM<sub>2,5</sub> y de 50µg·m<sup>-3</sup> a 24 horas de PM<sub>10</sub>, ambos valores adoptados por la Unión Europea. Además, debida a la alta afectación de las partículas en la salud, recomienda el objetivo de la reducción de concentraciones de partículas como un objetivo necesario.

En Argentina la Ley N° 20.084 establece los niveles guía de contaminantes de calidad del aire y se muestran en la siguiente tabla

Tabla 4.1: Niveles guía de contaminantes de calidad del aire

Contaminante (unidad)	Norma calidad del aire	Alerta	Alarma	Emergencia
CO (ppm)	10 ppm – 8h 50 ppm – 1h	15ppm – 8 hs 10 ppm – 1 h.	30 ppm – 8 hs. 120 ppm – 1h	50 ppm- 8 hs. 150 ppm – 1 h
NO <sub>x</sub> (ppm)	0,45 ppm – 1h	0,6 ppm – 1 hs 0,15 ppm – 24 hs	1,2 ppm – 1h 0,3 ppm – 24 hs	0,4 ppm – 24 hs
SO <sub>2</sub> (ppm)	0,03 ppm -(70 µg /m <sup>3</sup> ) promedio mensual	1 ppm – 1h 0,3 ppm – 8hs	5 ppm – 1 h.	10 ppm – 1 h
O <sub>3</sub> y oxidantes en general (ppm)	0,10 ppm – 1h	0,15 ppm – 1 h	0,25 ppm – 1 h.	0,40 ppm – 1 h
Partículas en suspensión (ppm)	150 µg/m <sup>3</sup> (promedio mensual)	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Partículas sedimentales (mg/cm <sup>2</sup> 30 días)	1,0 mg/cm <sup>2</sup> 30 días	1,0 mg/cm <sup>2</sup> 30 días	1,0 mg/cm <sup>2</sup> 30 días	1,0 mg/cm <sup>2</sup> 30 días

Fuente: Ley 20.284

## 5 – CICLOS DE VUELO DE UN AVIÓN

La actividad del transporte aéreo se divide a su vez en cuatro subactividades, atendiendo a la fase de operación ciclo LTO y crucero y al tipo de tráfico, nacional e internacional.

## 5.1 El ciclo LTO (Landing Take Off)

Comprende cinco fases de vuelo:

- *Landing* o aterrizaje, son todas aquellas operaciones que se realizan desde los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto hasta que alcanza la superficie de la pista.
- *Taxi in* o rodaje de entrada, son las maniobras que realiza el avión hasta llegar al punto de desembarque.
- *Taxi out* o rodaje de salida, son las maniobras que realiza el avión desde el punto de embarque hasta la cabecera de pista.
- *Take off* o despegue, son las operaciones que realiza el avión en la pista para lograr el despegue.
- *Climb out* o subida inicial son las operaciones que realiza el avión hasta alcanzar los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto.

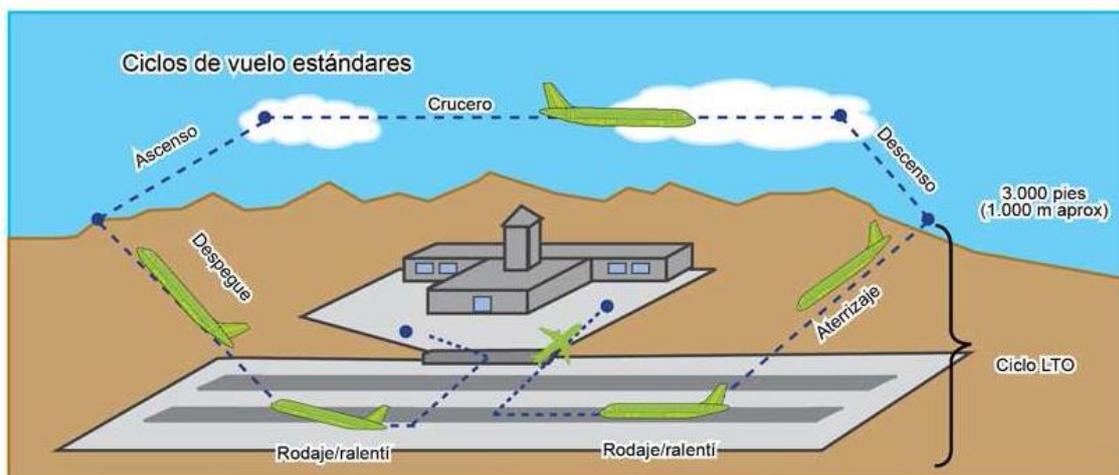
## 5.2 El crucero

Comprende tres fases de vuelo:

- *Climb* o subida, es el ascenso que se realiza desde los 1.000 metros, hasta la altitud máxima o altitud de crucero.
- *Cruise* o crucero, es la fase en la que predomina el desplazamiento sin ascenso ni descenso.
- *Descent* o descenso, es el descenso desde la altitud de crucero hasta los 1.000 metros.

En la figura 5.1 se muestran los ciclos de vuelo estándares de un avión, crucero y LTO, y las fases de vuelo de cada ciclo

Figura 5.1: Ciclos de vuelo de un avión.



Fuente: COMANA 10, Elaboración de inventarios en aeropuertos

## 6-FASES DE ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES EN UN AEROPUERTO

Entre las principales fuentes de emisión de los aeropuertos podemos distinguir las siguientes:

- Las operaciones de las aeronaves.
- Los vehículos de apoyo en tierra GSE.
- Unidades auxiliares de energía APU.
- Vehículos de transporte de pasajeros que acceden al aeropuerto.
- Estacionamientos.
- Prácticas contra incendios.
- Fuentes estacionarias: caldera de gasóleo y depósitos de combustibles.

Debido a la amplitud del estudio, a la hora de realizar los inventarios de emisiones, se selecciona como principales fuentes de emisión a las que proceden de las aeronaves y a las originadas por los vehículos de asistencia en tierra o GSE. Esto es porque los porcentajes de emisiones de estas dos fuentes, es significativamente mayor a las otras mencionadas, tal como podemos ver en la siguiente tabla que representa la modelización efectuada por el programa EDMS (*Emissions and Dispersion Modeling System*)

Tabla 6.1: Porcentaje de emisión global de contaminantes según fuente de emisión. Los contaminantes considerados fueron: CO, HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>.

%Aeronaves	%GSE/APU	%Acceso al aeropuerto	%Estacionamientos	%Fuentes estacionarias %Extinción de incendios
59,09	25,57	5,43	4,08	5,83

Fuente: Elaboración de inventarios de emisiones en aeropuertos. CONAMA10

Por lo tanto, en el siguiente informe no se consideran las emisiones realizadas por los transportes que acceden al aeropuerto, playa de estacionamiento, fuentes estacionarias y practicas contra incendios.

## 7- MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se consideró como base conceptual la información recopilada e indicada en el capítulo anterior. Así mismo, se tomó como guía para la confección de la metodología propuesta para la elaboración de un inventaría de los contaminantes gaseosos, el “*Convenio sobre aviación civil comercial*”, propuesto por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Las fases de la metodología para la elaboración de un inventario de emisiones en aeropuertos son las siguientes:

- **Fase 1:** Recopilación de datos.
- **Fase 2:** Análisis de datos.
- **Fase 3:** Metodología de cálculos de emisiones.
- **Fase 4:** Presentación de resultados.

## **7.1 Fase 1: Recopilación de datos**

Se identifican los datos necesarios para el cálculo de emisiones y las fuentes de información para la obtención de estos, tanto para las actividades relacionadas con las aeronaves, como para los equipos de asistencia en tierra.

### **7.1.1 Aeronaves**

Los parámetros a tener en cuenta para el cálculo de las emisiones son los siguientes:

**7.1.1.1 Las variables de actividad:** en el caso del tráfico aéreo la variable de actividad puede ser, dependiendo de la metodología a emplear alguna de las siguientes:

- Combustible vendido al tráfico aéreo tanto para vuelos domésticos como para internacionales.
- Número de ciclos LTO, dividido en ciclos LTO nacionales e internacionales.
- Datos vuelo a vuelo con información del tipo de aeronave en cada vuelo concreto y la distancia recorrida, en trayectos tanto nacionales como internacionales.

La información obtenida deberá ser lo más detallada posible, ya que, dependiendo del grado de desagregación de los datos, se podrá emplear diferentes metodologías.

**7.1.1.2 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.

Los FE utilizados en la confección del inventario 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, para el ciclo de vuelo de crucero no existen factores de emisión por la dificultad de realizar mediciones en trayectoria, por lo que se deben realizar simulaciones.

Las fuentes de información para la obtención de los factores de emisión son:

- Agencia Europea de Medioambiente (EEA):
- Libro guía European Monitoring and Evaluation Programme/Core Inventory of Air Emissions (EMEP/CORINAIR) de inventario de emisiones a la atmósfera 2007.
- Libro guía EMEP/EEA de inventario de emisiones a la atmósfera 2009.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC).
- IPCC 2006: *2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- CEPMEIP: *Co-ordinated European Programme on Particulate Matter Emission Inventories, Projections and Guidance*.  
([http://www.air.sk/tno/cepmeip/em\\_factors.php](http://www.air.sk/tno/cepmeip/em_factors.php))
- ICAO Database Emissions Databank:  
(<http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=702&pagetype=90>)

### 7.1.2 Vehículos de asistencia en tierra

El reunir los datos necesarios para realizar el inventario de vehículos de asistencia en tierra es una tarea complicada por el gran volumen de datos que se deben recopilar, y la gran cantidad de fuentes a las que se debe consultar.

En primer lugar, se debe proceder a identificar las empresas operadoras de *handling* (servicio de asistencia a aviones en tierra) que operan en el aeropuerto. Estas compañías son la principal fuente de información.

Los datos a obtener hacen referencia al número y tipología de los equipos que conforman el parque de las compañías de *handling*, además de datos precisos para calcular las emisiones en fases posteriores tales como: número de horas de funcionamiento medio, antigüedad de los motores, etc.

Por tanto, los datos necesarios, para la elaboración del inventario de equipos e inventario de emisiones son los siguientes:

- Propietario de los equipos.
- Descripción del equipo: características del motor, tipo de vehículo handling (turismo, plataforma elevadora, jardinera, cinta transportadora, tractor...).
- Número de equipos de cada familia/flota de vehículos (marcas, modelos).
- Tipo de combustible utilizado.
- Potencia de homologación del vehículo (Kw).
- Año de fabricación del motor.
- Volumen de combustible consumido por cada vehículo.

- Horas de funcionamiento medio.
- Distancias medias y totales recorridas.

## 7.2 Fase 2: Análisis de datos

Una vez reunidos los datos detallados anteriormente, se deben analizar y estructurar los mismos, para establecer el método de cálculo que se llevará a cabo.

### 7.2.1 Aeronaves

Existen tres metodologías identificadas como Tier1, Tier2 y Tier3, cada una de ellas presenta un tipo de actividad y tecnología utilizada. En la Tabla 7.1, se puede observar en forma resumida los requerimientos en cada nivel. Con respecto a la metodología para un mayor *Tier (Nivel)*, se requiere mayor precisión en la fuente de datos de partida.

Los requerimientos de esta metodología en cada nivel se detallan en forma resumida en la siguiente tabla.

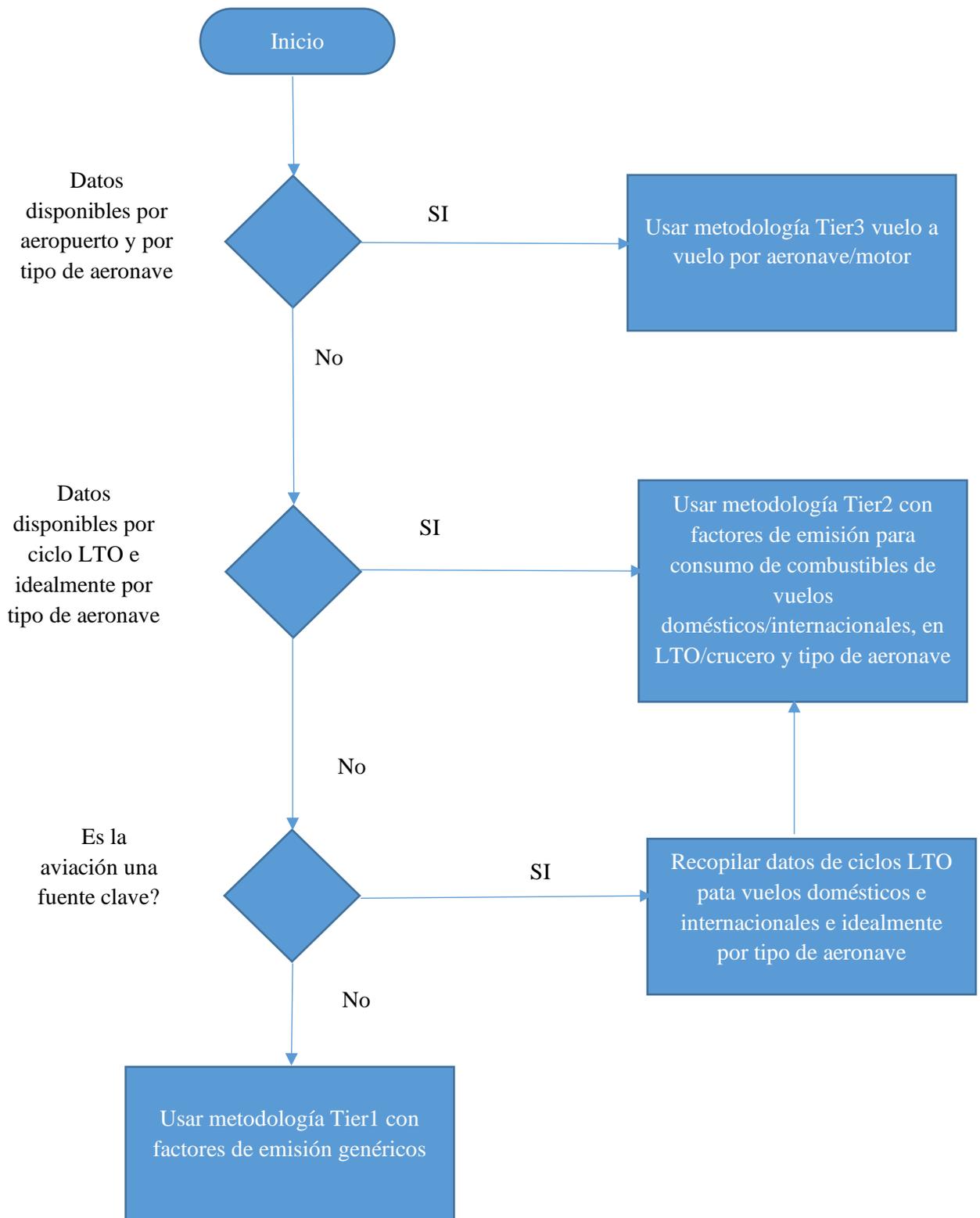
Tabla 7.1: Metodologías

	Actividad	Tecnología
Tier 1	Ventas de combustible divididas en uso doméstico e internacional. Nº ciclos LTO para tráfico doméstico e internacional	Uso de mezcla de una flota media, con factores de emisión genéricos y factores medios para las fases de LTO y Crucero.
Tier 2	Ventas de combustible dividido en uso doméstico e internacional. Nº ciclos LTO para vuelos domésticos e internacionales, por tipo de aeronave.	Uso de factores de emisión específicos para LTO y factores de emisión medios para crucero
Tier 3	Datos de vuelo a vuelo por tipo de aeronave y distancia volada, divididos en doméstico e internacional	Uso de datos específicos por tipo de aeronave, disponibles en la web de EEA.

Fuente: EMEP/EEA

La elección de la metodología dependerá de las conclusiones a las que se llegue teniendo en cuenta los pasos indicados en el diagrama que se muestra en la siguiente figura:

Figura 7.1: Diagrama de flujo para la elección de metodología de investigación



Fuente: Elaboración de inventarios de emisiones en aeropuertos. CONAMA10

## 7.2.2 Vehículos de asistencia en tierra

Con los datos recopilados de los vehículos y equipos de asistencia en tierra, se debe analizar los mismos y homogeneizarlos.

Los GSE son equipos diseñados específicamente para realizar tareas dentro de un aeropuerto, no son vehículos que puedan circular por vías públicas.

Dentro del grupo de vehículos GSE se pueden catalogar los siguientes tipos:

-**Autobús de pasajeros/Jardinera:** transportan pasajeros desde las terminales a los aviones que estén situados en remoto y viceversa. También se emplean para transportar tripulaciones y en cambios de turno del personal del aeropuerto.

-**Grupo aire acondicionado:** vehículo que dispone de una manguera que introduce aire frío dentro del avión.

-**Ambulift/Plataforma de elevación para minusválidos:** permite trasladar a personas en silla de ruedas o en camilla desde la terminal hasta el avión o viceversa.

-**Grupo calefactor:** vehículo encargado de la climatización de la cabina. El grupo calefactor se dedica a controlar la temperatura, humidificación, etc.

-**ASU (*Air Starter Unit*):** durante la puesta en marcha de los motores del avión, proporciona aire (energía neumática) para arrancarlos.

-**Grupo eléctrico (GPU):** abastecen de energía eléctrica a las aeronaves cuando están estacionadas.

-**Camiones:** de agua potable, de aguas residuales, de *catering*, cisterna, portaequipajes/maletas y camionetas de pista.

-**Grupo neumático:** se utiliza a petición del piloto cuando no se dispone de sangrado neumático, operación de extraer aire caliente y a presión de uno o más de los compresores del motor, de la Unidad de Potencia Auxiliar (APU por sus siglas en inglés).

-**Cintas transportadoras:** ayudan a cargar las maletas o mercancías que viajen sin contenedor desde el vehículo de transporte en tierra a la aeronave y viceversa.

-**Plataformas/Highloader:** equipo cuya función consiste en subir y bajar contenedores alojados en las bodegas de carga de la aeronave.

**-Dispenser:** vehículos dotados de equipos de medición, filtración y control de presión que abastecen a las aeronaves con las redes de hidrantes (queroseno); sistemas de tuberías situadas bajo la zona de estacionamiento de las aeronaves con puntos de conexión en cada estacionamiento.

**-Transferidor/Transelevador:** empleados para transferir los contenedores desde las plataformas hasta los carros de transporte para los tractores auxiliares y viceversa.

**-Elevadores/Forklift/Toro:** equipos preparados para elevar, descender y transferir la carga en bodegas altas, tanto de *pallets* como de contenedores.

**-Tractores de equipaje/Carga y de aeronaves/Push-back:** los tractores de equipajes son los que se utilizan para llevar el equipaje o carga desde la terminal al avión y viceversa, Los tractores de aeronaves son vehículos usados para el remolque de los aviones desde la puerta de embarque hasta la pista de rodaje.

**-Equipo de deshielo:** camiones, que llevan incorporado un depósito con una mezcla de agua y glicol, y una caldera con un quemador que hace que la mezcla se caliente y salga por el cañón a alta temperatura. En el camión van instaladas unas bombas que elevan el agua a la presión necesaria para que caiga sobre el avión

**-Escaleras:** proporcionan acceso a los pasajeros y a la tripulación a las aeronaves desde tierra.

**-Vehículos ligeros/Móvil.**

**-Furgonetas (rampa, pick-up, tripulación, inválidos, protocolo):** automóvil de carga utilizado para transportar bienes o grupos de personas.

Una vez catalogados los vehículos en las tipologías indicadas antes, se procede a la elaboración de tablas con los datos de forma que el cálculo de las emisiones sea sencillo y rápido.

### **7.3 Fase 3: Metodología de cálculo**

En esta fase se procede al cálculo de las emisiones de sustancias contaminantes de las aeronaves y los vehículos GSE.

Se consideran sustancias contaminantes aquellas emitidas al aire por los vehículos y que son ajenas a los gases que naturalmente están en la atmosfera, que son monóxido de carbono CO, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>25</sub>, ozono O<sub>3</sub>, monóxido de nitrógeno NO, dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>, metano CH<sub>4</sub>.

### **7.3.1 Aeronaves**

La toma de decisión sobre la metodología de cálculo a usar se va a basar en los datos de actividad que se hayan podido recopilar, así como en su desagregación.

A continuación, se pasa a describir los tres niveles de metodologías existentes:

#### **7.3.1.1 Tier 1 o metodología muy simplificada**

Para poder realizar los cálculos de un inventario con la metodología Tier 1 se va a precisar la siguiente información:

- Ventas de combustible en el sector. Se toma como hipótesis de cálculo que todo el combustible vendido se consume.
- Desagregación del combustible en tráfico nacional e internacional.
- Número de ciclos LTO del país y conocimientos generales de la aeronave empleada, para tráfico nacional e internacional.
- Con relación al tráfico internacional es preferible conocer el destino de los vuelos para corto radio (vuelos a pequeña distancia) y largo radio (vuelos a grandes distancias) así como el tipo de aeronave volada.

El algoritmo de cálculo será el siguiente:

$$\text{Emisiones} = \text{Combustible} * \text{Factor de emisión}$$

Donde:

Emisiones: emisión anual de contaminantes para cada una de las fases, LTO y crucero de los vuelos nacionales e internacionales

Combustible: consumo de combustible para cada fase de vuelo y tipo de tráfico.

Factor de emisión: para cada fase de vuelo y tipo de tráfico.

#### **7.3.1.2 Tier 2 o metodología simplificada**

Para poder realizar los cálculos de un inventario con la metodología Tier 2 se va a precisar la siguiente información:

- Ventas de combustible en el sector, obtenido de las mismas fuentes señaladas en el Tier 1.

- Desagregación del combustible en tráfico nacional e internacional.
- Número de ciclos LTO por tipo de aeronave para tráfico nacional e internacional, sin tener en cuenta el destino.

El algoritmo de cálculo es el siguiente:

$$\text{Emisiones} = \sum \text{aeronaves combustibles} * \text{Factor de emisión}$$

Siendo:

Emisiones: emisiones anuales para el ciclo LTO y crucero de los vuelos domésticos e internacionales.

Combustible: consumo para cada fase de vuelo, tipo de tráfico y para cada tipo de aeronave.

Factor de emisión: para cada fase de vuelo, tipo de tráfico y para cada tipo de aeronave

Se deben tener en cuenta ciertas consideraciones tanto en la fase LTO como en la fase crucero para poder utilizar esta metodología.

Concretamente en el ciclo LTO los valores de factores de consumo y factores de emisión por tipo de aeronave, están incluidos en la tabla 3-5 de la guía EMEP/EEA 2009 (ver anexo 1).

Con respecto a la fase de crucero, el combustible considerado, tanto nacional como internacional, se obtiene como la diferencia entre el combustible vendido y el combustible que ha sido calculado como consumido en el ciclo LTO.

Las metodologías de Tier 1 y Tier 2 se basan en datos LTO y la cantidad de combustible vendido o usado. Se supone que el combustible utilizado es igual al combustible vendido. (EEA, 1.A.3.a Aviation 2016). Esto implica un desfase entre los valores calculados y los valores reales de emisión.

### **7.3.1.3 Tier 3 o metodología detallada**

La metodología Tier 3 a diferencia de la Tier 1 y Tier 2, es una metodología considerada de “abajo-arriba”, por lo que, en esta ocasión, no se precisa del dato de ventas de combustible en su cálculo.

Esta metodología es la idónea si se dispone de todos los vuelos con información relativa a los aeropuertos origen/destino y el tipo de aeronave; de forma que, se pueden calcular las emisiones y el consumo de combustible en crucero en función de la distancia volada por la aeronave.

No obstante, para el empleo de esta metodología se suele requerir el uso de un modelo de cálculo de emisiones específico, debido al volumen de datos implicados.

Esta metodología se divide a su vez en dos, dependiendo tanto de la precisión de los datos de partida como del modelo de cálculo del cual se disponga:

- Tier 3A: empleado cuando se dispone de los datos relativos a los aeropuertos origen/destino y tipo de aeronave operada.
- Tier 3B: utilizado cuando se dispone de toda la trayectoria del vuelo, la configuración aerodinámica de la aeronave y el motor operado. Esta metodología requiere de una herramienta de cálculo muy potente.

A continuación, se pasa a describir la metodología Tier 3A.

### Metodología Tier 3A

El algoritmo de cálculo considera lo siguiente:

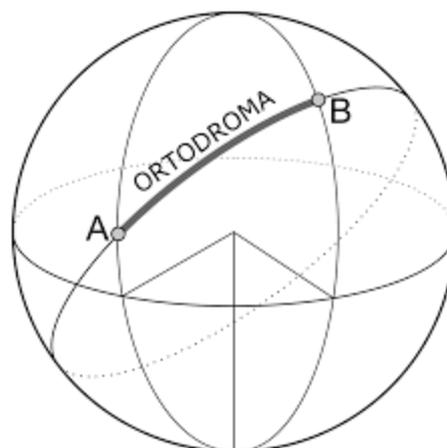
Los factores de emisión, en el ciclo LTO y por tipo de motor, de NO<sub>x</sub>, HC, CO e índice de humo y el consumo de combustible, se obtienen de la base de datos de OACI mantenida por la CAA: <http://www.caa.co.uk/default.aspx?catid=702&pagetype=90>.

Los factores de emisión, en el crucero y por tipo de aeronave, de NO<sub>x</sub>, HC, CO y el consumo de combustible en función de la distancia, se obtienen de la base de datos de EMEP/EEA:

<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emissioninventoryguidebook-2009>.

Para calcular la distancia recorrida en el vuelo se puede emplear la distancia ortodrómica o arco de círculo máximo (distancia más corta entre dos puntos) como se muestra en la figura 7.2, no obstante, hay que tener en cuenta que empleando esta distancia no se tienen en cuenta posibles circuitos de espera por acumulación de tráfico o desviaciones de la trayectoria más corta por la existencia de áreas restringidas.

Figura 7.2: distancia ortodrómica



Fuente: Wikipedia

Entre los modelos existentes en el mercado para el cálculo de emisiones destacan los indicados a continuación, que además fueron seleccionados por el CAEP (*Committee on Aviation Environmental Protection*) para su utilización por el mismo:

-**AEDT/SAGE** (*Aviation Environmental Design Tool/System for assessing Aviation's Global Emissions*) de la FAA.

-**AEM** (*Advanced Emission Model*) de EUROCONTROL.

-**AERO2k** (*Aviation Emissions & Evaluation of Reduction Options*): modelo desarrollado por el laboratorio Aeroespacial Nacional de los Países Bajos (*Nationaal Lucht en Ruimtevaartlaboratorium – NLR*).

-**FAST**: de la Administración del Reino Unido.

-**Modelo Español de Cuantificación de Emisiones (MECETA)** Para el caso español, se ha hecho uso de este modelo en el cálculo de la revisión del inventario de emisiones 1990-2009 del sector aéreo.

-El modelo **MECETA** permite realizar el cálculo de emisiones mediante la metodología Tier 3A, empleando algunas mejoras metodológicas que están descritas y aceptadas en la metodología EMEP/EEA, y que son:

-En el ciclo LTO:

- Se permite el uso de tiempos de rodaje característicos de los aeropuertos (*time-in-mode*).
- Además permite el cálculo para cada aeronave de uno o varios tipos de motores, en este último caso, se aplica un porcentaje de utilización de cada motor.

-En la fase de crucero:

- Calcula la distancia volada, con la información del aeropuerto de origen y destino, y realiza una estimación independiente del consumo de combustible.
- Para el cálculo del consumo y emisiones en crucero emplea las tablas de EMEP/CORINAIR corregidas con consumos reales de vuelos realizados por las principales compañías españolas. De esta forma se disminuye el error que se puede cometer empleando la distancia ortodrómica.
- Empleo en el ciclo LTO del *derate* o empuje reducido en el despegue (según punto 4.8 de la guía EMEP/CORINAIR 2009). El *derate* depende de los siguientes factores:

- \* Tipo de aeronave (utilizada en corto o largo alcance).
- \* Características de la pista (longitud, cota del aeropuerto).
- \* Condiciones meteorológicas (temperatura, estado de las pistas - hielo, mojada seca).

- \* MTOW, *Maximum Take-Off Weight* (peso máximo al despegue) combustible, carga de pago.
- \* Obstáculos, pendientes mínimas de ascenso.
- \* Demanda de tráfico.

### 7.3.2 Vehículos de asistencia en tierra

Una vez recopilada y analizada la información, se procede al cálculo de las emisiones. Los contaminantes que se emiten y deben ser calculados durante el funcionamiento de los vehículos, son los recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 7.2: Contaminantes que emiten los vehículos de asistencia en tierra.

Contaminante	Descripción
NO <sub>x</sub> (NO y NO <sub>2</sub> )	Óxidos de nitrógeno
CO	Monóxido de carbono
PM	Material Particulado
PM <sub>2,5</sub>	Partículas de diámetro inferior o igual a 2,5 micrómetros
NM VOC	Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COV-CH <sub>4</sub> )
CH <sub>4</sub>	Metano
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre

Fuente: Elaboración de inventarios de emisiones en aeropuertos. CONAMA10

Para caracterizar adecuadamente las emisiones de un equipo de *handling* particular, se requiere información detallada en cuanto a factores de emisión por unidad de actividad y en cuanto al grado de uso del vehículo o factor de carga.

En ocasiones las condiciones de homologación no se ajustan totalmente a las de operación del vehículo, ya que pueden circular a velocidades reducidas (con máximos de 30Km/h) o bien pasan gran parte de su tiempo trabajando al ralentí. Por ello debe ser considerado el factor de carga antes mencionado.

Dado que los niveles de emisión son bastante sensibles al régimen de giro del motor y a su factor de carga, los factores de emisión de motores industriales se miden dentro de un amplio rango de modos de operación a régimen y carga constantes para ponderarlos posteriormente, en función del tiempo que se estima puede invertir en su operación en cada uno de esos modos, y de esta forma obtener los factores de emisión medios del motor.

Puesto que los factores de emisión de los GSE se miden en términos de trabajo realizado, es de gran importancia medir la cantidad de trabajo realizado durante el periodo de interés, y así poder evaluar correctamente las emisiones de un equipo. Para periodos de operación cortos y aislados es suficiente con conocer las condiciones de velocidad y grado de carga del motor. No obstante, cuando se pretende evaluar periodos de tiempo superiores, el

funcionamiento del equipo generalmente comprende una serie de condiciones diferentes de operación y la cantidad de trabajo realizado se define frecuentemente como una parte del máximo trabajo que se puede realizar con ese motor durante el tiempo de interés. Comúnmente nos referimos a esta fracción del trabajo máximo como factor de carga teniendo que el 100% de carga se produce cuando trabajamos todo el tiempo a la potencia y régimen nominales.

Los factores de emisión obtenidos con los ciclos de homologación están calculados para factores de carga de 0,56 con el ensayo ISO 8178 C1 y de 0,39 para el ensayo J1088 de la SAE.

Una vez establecido el factor de carga para un funcionamiento típico se pueden estimar las emisiones para cualquier motor similar a partir de los factores de emisión y el número de horas de funcionamiento.

La metodología utilizada para el cálculo de las emisiones es la metodología establecida por CORINAIR en su apartado *Non-road mobile sources and machinery*, SNAP 0808 *Oher mobile sources and machinery-Industry*.

La elección, como en el caso de las aeronaves de la metodología a emplear, dependerá principalmente del grado de detalle que se haya obtenido de los datos necesarios para el cálculo.

De menor a mayor grado de detalle, en la metodología CORINAIR para el cálculo de las emisiones de los vehículos de *handling* disponemos de diferentes Tier, pero desde el OBSA se propone la utilización de la Tier 3, la más completa.

La cantidad de trabajo producido durante el periodo a estudiar se calcula multiplicando la potencia nominal del motor por el número total de horas de funcionamiento y por el factor de carga representativo del modo de operación. Multiplicando este resultado por los factores de emisión por unidad de trabajo obtendremos las emisiones totales producidas en el periodo de interés. Algebraicamente esto se expresa como:

$$\text{Emisiones} = N * H * P_n * F * e$$

Siendo cada uno de los miembros de la ecuación los siguientes:

N = número de vehículos.

H = número de horas de funcionamiento medio de cada vehículo (h).

P<sub>n</sub> = potencia nominal del motor (Kw).

F = factor de carga o grado de uso del vehículo.

e = factor de emisión (g/kw\*h).

Los factores de emisión a utilizar proceden también de la guía CORINAIR. Dichos factores de emisión son para motores controlados puesto que, dependiendo del año de homologación de los vehículos, a los mismos se les aplica Directivas distintas de emisión que deben cumplir cuando se les pasa las Inspecciones Técnicas o ITVs.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se estiman en base al consumo de combustible exclusivamente, asumiendo que el carbono contenido en el combustible es totalmente oxidado en CO<sub>2</sub>.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\text{CO}_2 \text{ (g)} = 44,011 * (\text{MASA DE COMBUSTIBLE} / (12,011 + 1,008 * rH/C))$$

Siendo:

MASA DE COMBUSTIBLE = cantidad de combustible consumido por el equipo al año (g/cm<sup>3</sup>). Se considera la densidad del diesel 0,832 g/cm<sup>3</sup>, media de las densidades proporcionadas por la EN ISO 12185.

rH/C: ratio de átomos de hidrógeno y carbono en el combustible (~1.8 para gasolina y ~2,0 para diésel).

#### **7.4 Fase 4: Presentación de resultados**

Los resultados obtenidos son presentados de una determinada manera o de otra, en función a los objetivos previos de la investigación.

### **8-Metodología para la estimación de emisiones**

Para obtener el cálculo estimado de las emisiones que provienen de las aeronaves en el aeropuerto se seguirán los lineamientos indicados en la metodología de nivel 1. Este método se basa en los datos de la cantidad de combustibles consumido por las aeronaves en los ciclos LTO y crucero para vuelos nacionales e internacionales por separado.

La estimación de emisiones de acuerdo con la metodología de nivel 1 puede ser obtenida siguiendo los pasos detallados a continuación:

- 1- Obtener la cantidad total de combustible vendido a todas las aeronaves (en kilotoneladas)
- 2- Obtener la cantidad de combustible utilizado para vuelos domésticos únicamente (en kilotoneladas)
- 3- Calcular la cantidad total de combustible utilizado para vuelos internacionales, mediante la resta del combustible usado en vuelos nacionales menos el total de combustible vendido.
- 4- Obtener el número total de ciclos LTO llevado a cabo para vuelos nacionales.
- 5- Calcular el total de combustible utilizado por ciclo LTO para vuelos nacionales, multiplicando el número de LTO domésticos por los factores de consumo de combustible

para una aeronave representativa (tabla 8.1). Los factores de uso de combustible sugeridos son para una flota antigua y otra promedio.

6- Calcular el combustible utilizado para vuelos nacionales durante la etapa de crucero restando la cantidad de combustible usado en el ciclo LTO con la cantidad total de combustible usado en vuelos domésticos.

7- Estimar las emisiones relacionadas a los ciclos LTO multiplicando los factores de emisión (por LTO) por el número de ciclos LTO para el tráfico nacional. Los factores de emisión sugeridos son para una flota antigua y otra promedio, para una aeronave representativa (tabla 8.1)

8- Estimar las emisiones para vuelos nacionales relacionados a las etapas de crucero multiplicando los respectivos factores de emisión por la cantidad de combustible en la etapa crucero. Los factores de emisión sugeridos son para una flota antigua y otra promedio y para una aeronave representativa (tabla 8.1)

9- Repetir los pasos del 4 al 8 substituyendo las actividades de vuelos nacionales por vuelos internacionales. Es preferible para vuelos internacionales distinguir entre vuelos de corta distancia (menores a 1.000mn) y larga distancia (mayores a 1.000mn). Esto último normalmente lo realizan aviones grandes que consumen mayor cantidad de combustible en comparación con vuelos de corta distancia. Si no se puede hacer esta distinción, se espera que las emisiones de LTO se subestimen en gran medida en la mayoría de los países.

Los factores para esta metodología consideran una tecnología de flota promedio, es decir, se basan en un tipo de aeronave genérica, en concreto se tomaron como modelo de avión el Boeing 737-400, el Boeing 737-100, el Boeing 747-400, el Boeing 767 y el DC 10

Tabla 8.1: Factores de emisión y combustible usado para la metodología de nivel 1 (*tier 1*), el tipo de combustible es queroseno jet.

Factores de emisión metodología de nivel 1									
Nacional	Combustible	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 genérica (B737-400)	825	0,8	2600	11,8	8,3	0,5	0,1	0,1	0,07
LTO (kg/LTO) – flota antigua (B737-/100)	920	0,9	2900	4,8	8,0	0,5	0,1	0,1	0,10
Crucero (kg/tonelada) – flota genérica(B737-400)	-	1,0	3150	2,0	10,3	0,1	0	0,1	0,20
Crucero (kg/tonelada) – flota	-	1,0	3150	2,0	9,4	0,8	0	0,1	0,20

<b>antigua (B737-100)</b>									
<b>Internacional</b>	<b>Combustible</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>NMVOC</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>PM<sub>25</sub></b>
<b>LTO (kg/LTO) – flota genérica (B767)</b>	1617	1,6	5094	6,1	26,0	0,2	0,0	0,2	0,15
<b>LTO (kg/LTO) – flota genérica (distancias cortas, B737-400)</b>	825	0,8	2600	11,8	8,3	0,5	0,1	0,1	0,07
<b>LTO (kg/LTO) – flota genérica (distancias largas B737-400)</b>	3400	3,4	10717	19,5	56,6	1,7	0,2	0,3	0,32
<b>LTO (kg/LTO) – flota antigua (DC10)</b>	2400	2,4	7500	61,6	41,7	20,5	2,3	0,2	0,32
<b>LTO (kg/LTO) – flota antigua (distancias cortas B737-100)</b>	920	0,9	2900	4,8	8,0	0,5	0,1	0,1	0,10
<b>LTO (kg/LTO) – flota antigua (distancias cortas B747-100)</b>	3400	3,4	10754	78,2	55,9	33,6	3,7	0,3	0,47
<b>Crucero (kg/tonelada) – flota genérica(B767)</b>	-	1,0	3150	1,1	12,8	0,5	0,0	0,1	0,20
<b>Crucero (kg/tonelada) – flota antigua (DC10)</b>	-	1,0	3150	1,0	17,6	0,8	0,0	0,1	0,20

Fuente: Air pollutant emission inventory guidebook 2013

El Ente de Navegación Aérea Argentina (EANA) en su informe mensual de enero de 2019 publica la cantidad de movimientos para vuelos nacionales e internacionales desde el mes de enero hasta diciembre del año 2018 y se muestra en la tabla 9.2.

Tabla 8.2: Movimiento en el aeropuerto teniente Benjamín Matienzo de Tucumán del año 2018

<b>Movimiento Aeropuerto Teniente Benjamín Matienzo Año 2018</b>		
	<b>Cabotaje</b>	<b>Internacional</b>
<b>Enero</b>	688	50
<b>Febrero</b>	604	48
<b>Marzo</b>	624	66
<b>Abril</b>	714	91
<b>Mayo</b>	772	67
<b>Junio</b>	677	87
<b>Julio</b>	696	112
<b>Agosto</b>	760	119
<b>Septiembre</b>	692	113
<b>Octubre</b>	659	158
<b>Noviembre</b>	539	119
<b>Diciembre</b>	587	107
<b>Total de movimientos en el año 2018</b>	<b>8012</b>	<b>1137</b>

Fuente:Informe mensual enero 2019 EANA

De acuerdo con el informe estadístico publicado por ANAC en su página oficial (<https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/>) muestra en la “Visualización interactiva de la aviación de todo el país” que el movimiento de las aeronaves B737, de Boeing, fue de un 46,7% del total de movimientos del aeropuerto de Tucumán, mientras que del A320, de Airbus, el porcentaje fue del 26,4% del total de movimientos. Entre estas dos aeronaves acumulan el 73,1% de los movimientos de la estación aeroportuaria, el resto de los movimientos corresponde un 7,4% a MD80, de McDonnell Douglas, un 5,9% a E-190, de Embraer, 3,4% a helicópteros, 2,3% a Citation, de Cessna Citation, un 2,0% a BE90, 1,2% BE20, de Beechcraft King Air, un 1.9% LJ60, un 1.2% LJ35, 0,6% LJ45, de Bombardier y un 1.0% a C-208, de Cessna. En la figura 8.1 se presentan los movimientos en porcentaje de las aeronaves en el año 2018 para el aeropuerto de Tucumán.

Figura 8.1: Porcentaje de movimientos de aeronaves en el aeropuerto de Tucumán para el año 2018



Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas

<https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/>

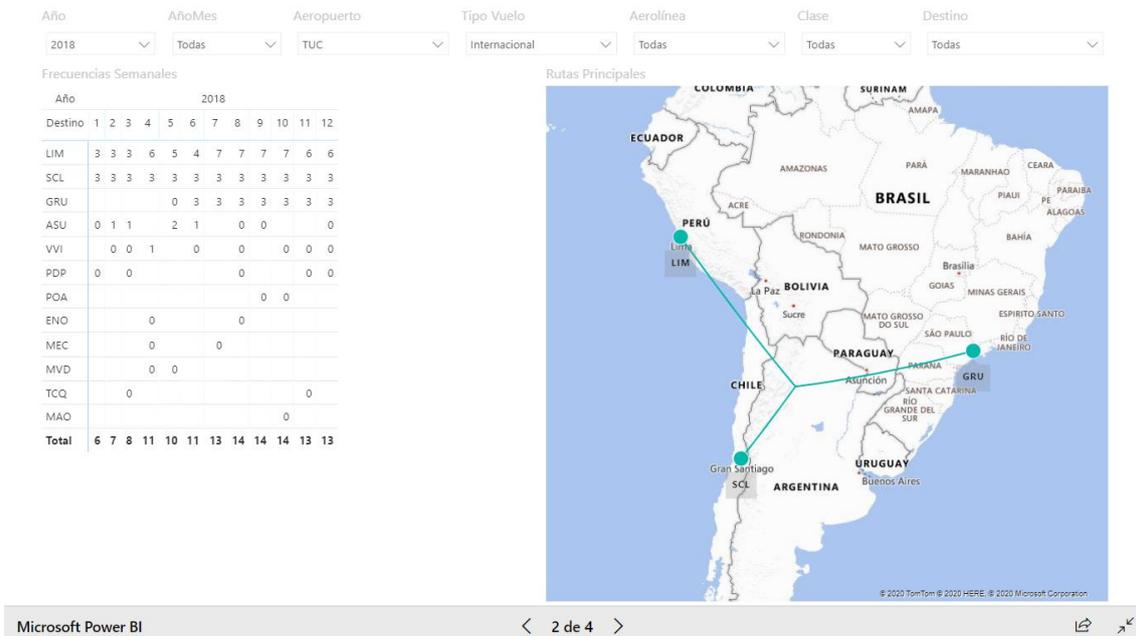
En los factores de emisión y combustible usados para los cálculos en la metodología de nivel 1, Tabla 8.1, no figuran todas las aeronaves, por lo que se tomara, para los vuelos nacionales, como aeronave representativa el B737-400.

La guía de la metodología nivel 1 cita que para vuelos internacionales es preferible distinguir entre vuelos de corta distancia (menores a 1.000mn) y larga distancia (mayores a 1.000mn).

En el año 2018 los destinos internacionales de los vuelos que despegaron del aeropuerto de Tucumán fueron el aeropuerto internacional Jorge Chávez de Lima, Perú, el aeropuerto internacional Arturo Merino Benítez de Santiago de Chile, Chile, el aeropuerto internacional Silvio Pettirossi de Asunción, Paraguay, el aeropuerto internacional gobernador André Franco Montoro de San Pablo y el aeropuerto internacional Viru Viru de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, según estadísticas de ANAC, Aviación Civil Argentina, en su página de visualización interactiva, como se muestra en la figura 8.2

De estos destinos solo los aeropuertos de Lima y de San Pablo están a más de 1000 mn. Por lo tanto, para los cálculos, estos destinos serán considerados de larga distancia.

Figura 8.2: Destinos internacionales de los vuelos que partieron del aeropuerto de Tucumán



Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas

<https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/>

## 9-Resultados y discusiones

A partir de las consideraciones citadas en el capítulo anterior, se estimaron los valores de emisiones para vuelos internacionales, adoptando como aeronave representativa un B737-400. En la tabla 9.1 se muestran los valores estimados par vuelos internacionales de corta distancia y en la tabla 9.2 están los valores estimados para vuelos internacionales de larga distancia. El total de emisiones para vuelos internacionales y para cada contaminante atmosférico se muestra en la tabla 9.3

Tabla 9.1: emisiones producidas por el B737-400 durante 2018 en el aeropuerto de Tucumán para vuelos internacionales de corta distancias (menores a 1000 mn)

N° LTO vuelos int.<1000 mn	SO <sub>2</sub> Kg/año	CO <sub>2</sub> Kg/año	CO Kg/año	NO <sub>x</sub> Kg/año	NMVOC Kg/año	CH <sub>4</sub> Kg/año	N <sub>2</sub> O Kg/año	PM <sub>25</sub> Kg/año
<b>382</b>	909,6	2.956.200	13.416,6	9.437,1	568,5	113,7	113,7	79,59

Fuente: elaboración propia

Tabla 9.2: emisiones estimadas para el B737-400 durante 2018 en el aeropuerto de Tucumán para vuelos internacionales de larga distancias (mayores a 1000 mn)

N° LTO vuelos int.>1000 mn	SO <sub>2</sub> Kg/año	CO <sub>2</sub> Kg/año	CO Kg/año	NO <sub>x</sub> Kg/año	NMVOC Kg/año	CH <sub>4</sub> Kg/año	N <sub>2</sub> O Kg/año	PM <sub>25</sub> Kg/año
<b>755</b>	2.567	8.091.335	14.722,5	42.733	1.283,5	151	226,5	241,6

Fuente: elaboración propia

Tabla 9.3: total de emisiones para vuelos internacionales y para cada contaminante atmosférico

	SO2 Kg/año	CO2 Kg/año	CO Kg/año	NOx Kg/año	NMVOC Kg/año	CH4 Kg/año	N2O Kg/año	PM25 Kg/año
Corta distancia	305,6	993.200	4.507,60	3.170,60	191	38,2	38,2	26,74
Larga distancia	2.567	8.091.335	14.722,50	42.733	1.283,50	151	226,5	241,6
Total de emisiones	2872,6	9.084.535	19.230,10	45.903,60	1474,5	189,2	264,7	268,34

Fuente: elaboración propia

La estimación de combustible consumido en los ciclos LTO para vuelos internacionales de corta distancia es 0,31 ktn/año y para vuelos internacionales de larga distancia es de 2,57 ktn/año. El total de combustible para vuelos internacionales es 2,88 kTn/año. Para vuelos nacionales el total de combustible estimado es de 6,61ktn/año.

Las emisiones estimadas para el año 2018 detalladas para vuelos nacionales e internacionales, y emisiones totales se muestran en la tabla 9.4

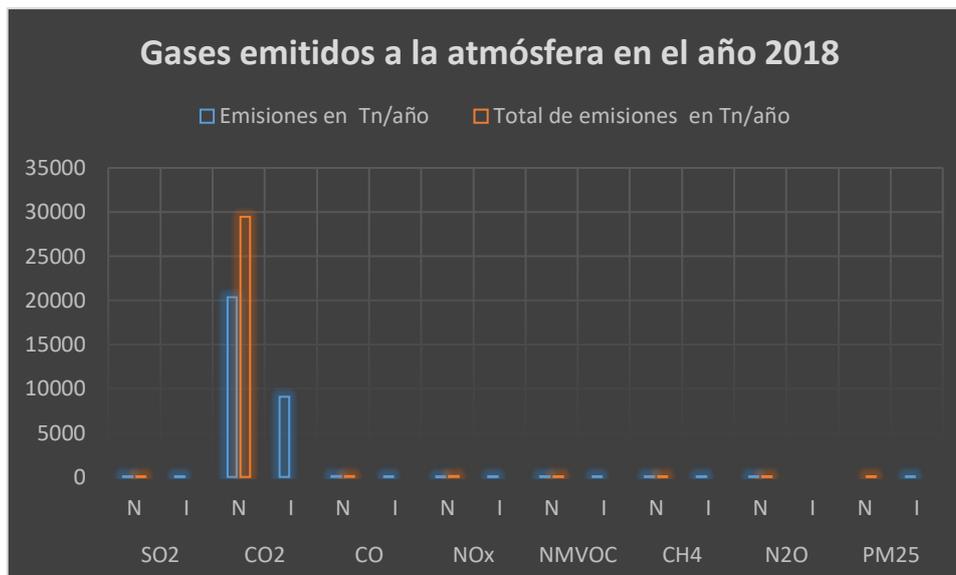
Tabla 9.4: Emisiones en el ciclo LTO en el aeropuerto de Tucumán

Gases emitidos	Tipo de Vuelo	Emisiones en tn/año	Total de emisiones en tn/año
SO <sub>2</sub>	N	6,41	9,28
	I	2,87	
CO <sub>2</sub>	N	20.381,20	29.465,73
	I	9.084,53	
CO	N	94,54	113,77
	I	19,23	
NO <sub>x</sub>	N	66,49	112,39
	I	45,90	
NMVOC	N	4,00	5,47
	I	1,47	
CH <sub>4</sub>	N	0,80	0,99
	I	0,19	
N <sub>2</sub> O	N	0,80	1,06
	I	0,26	
PM <sub>25</sub>	N	0,56	0,83
	I	0,27	

Fuente: elaboración propia

En el gráfico 9.1 se representan los valores estimados de emisiones en toneladas en el año 2018 de la tabla 9.2.

Figura 9.1: Emisiones totales en Tn/año



Fuente: elaboración propia

## 9.2 Discusión de los resultados

Los resultados de esta investigación serán comparados con un trabajo realizado en el año 2013 sobre las emisiones en los aeropuertos más importantes de Argentina, un trabajo en el aeropuerto de Córdoba del año 2016 y por último con un trabajo de estimación de emisiones sobre el sector del transporte aéreo en Chile del 2015.

También los resultados obtenidos serán evaluados de acuerdo con el reglamento N°166/2006 del Parlamento Europeo donde se establecen los valores umbrales para los distintos contaminantes.

### Inventario en los principales aeropuertos de Argentina

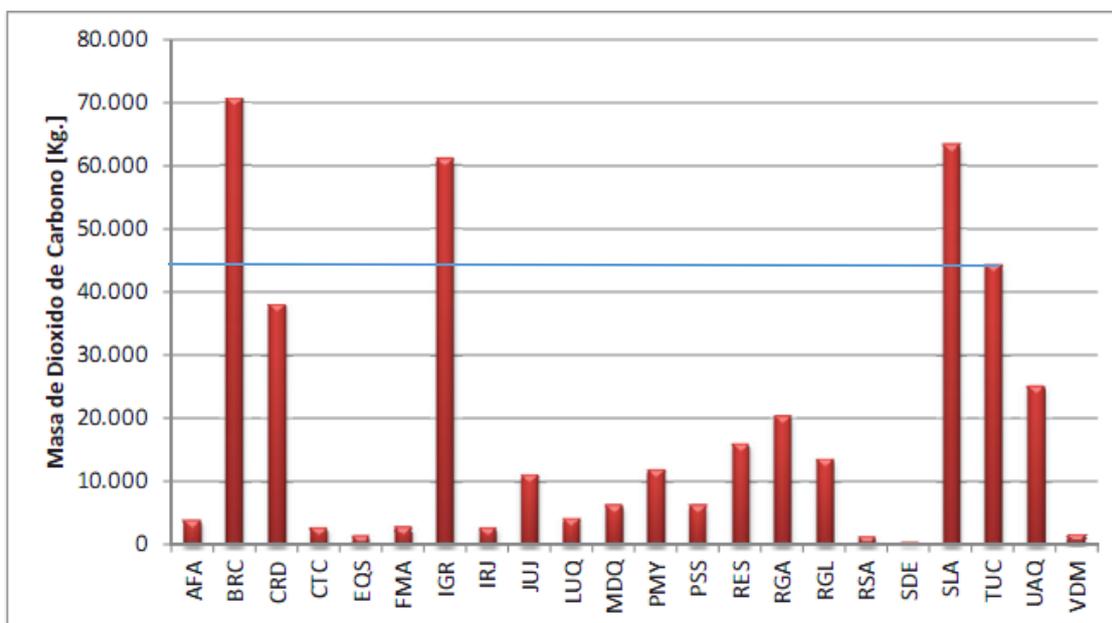
En este trabajo se cuantificó las emisiones gaseosas de la flota aerocomercial operativa en los principales aeropuertos en Argentina al año 2013.

Se utilizó la base de datos de emisiones de contaminantes de la OACI, se analizó la cantidad de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno aportados por cada ciclo Landing - Take Off (LTO) para todas las aeronaves bajo estudio.

También se realizó el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> para una altura de vuelo de más de 1000 metros, utilizando la metodología desarrollada por OACI.

Los resultados de este trabajo son presentados en forma gráfica, a partir de estos se estiman los valores para ser comparados.

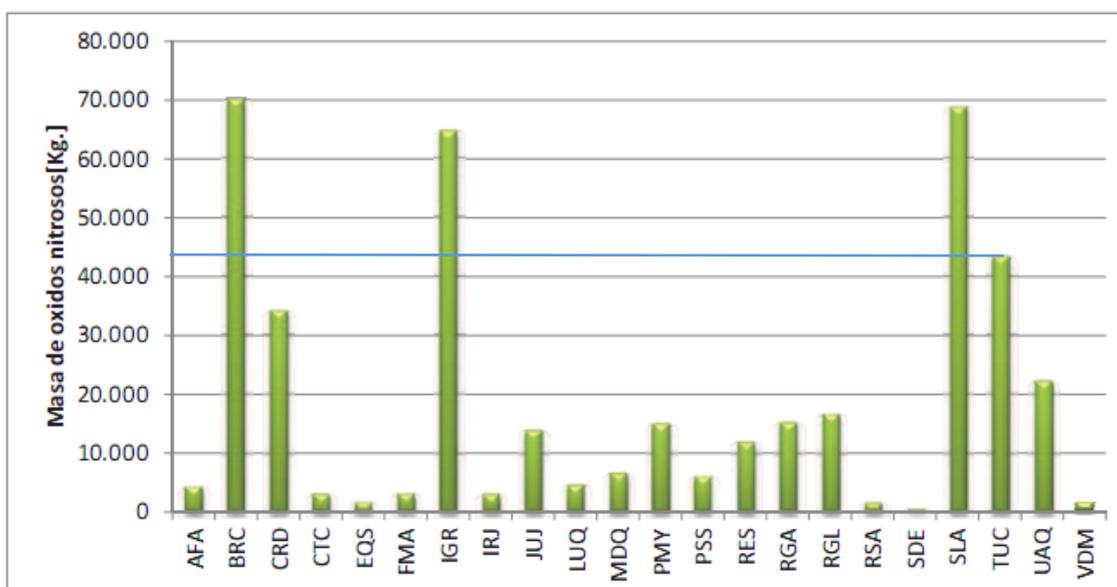
Figura 9.2: Emisiones anuales de CO<sub>2</sub> en ciclos LTO en los principales aeropuertos de la Argentina, año 2013.



Fuente: Cálculo de aporte contaminante gaseoso en los principales aeropuertos y rutas argentinas

De la gráfica 9.2 se estima que las emisiones de CO<sub>2</sub> son 45tn.

Figura 9.3 emisiones anuales de NO<sub>x</sub> en los ciclos LTO en los principales aeropuertos de la Argentina, año 2013.



Fuente: Cálculo de aporte contaminante gaseoso en los principales aeropuertos y rutas argentinas

De la gráfica 9.3 se estima que las emisiones de NO<sub>x</sub> fueron de 42tn.

De las series históricas de ANAC en las tablas de movimientos y pasajeros figura que el total de movimientos en el aeropuerto de Tucumán en el año 2013 fue de 5040 y como vimos anteriormente el número de movimiento en 2018 fue 9149. En comparación entre ambos periodos de tiempo se calcula un aumento en el número de movimientos del 55,08%. En la tabla 9.4 se muestran los valores estimados de emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> para ambos años y se observa el porcentaje de incremento en las emisiones que se están discutiendo en este caso.

Tabla 9.5: resultado del estudio comparativo entre el año 2013 y 2018 de los contaminantes CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>

	Movimientos	CO <sub>2</sub> tn/año	NO <sub>x</sub> tn/año
<b>2013</b>	5040	45	42
<b>2018</b>	9149	29.465,73	112,39
<b>% relativo</b>	55,08%	0,15%	37,36%

Fuente: elaboración propia

De estos resultados se observa un incremento en las emisiones entre los dos periodos en discusión, esto es de esperar ya que hubo un aumento en el número de movimientos, aunque el porcentaje de aumento entre los contaminantes no es en la misma proporción que el número de movimientos, esto se puede explicar porque la flota de aviones que se estudiaron en ambos trabajos no fue la misma, en consecuencia, el aumento de los contaminantes no es lineal con el aumento de ciclos LTO.

### **Inventario del aeropuerto de Córdoba**

En este trabajo se realizó la caracterización de las emisiones de GEI provenientes de actividad aeroportuaria del Aeropuerto Internacional Ing. Ambrosio Taravella de Córdoba, Argentina, para el año 2016.

Para la caracterización de las emisiones se utilizó la herramienta diseñada por el Concejo de Aeropuertos Internacional (ACI, por su sigla en inglés), denominada ACERT (ACI's Airport Carbon and Emissions Reporting Tool). Esta herramienta consiste en una hoja de cálculo de Excel donde requiere que cada aeropuerto seleccione el alcance que abordará para su inventario, y en función a dicha selección se habilita automáticamente la carga de datos asociada a un total de 10 pasos.

En la tabla 9.5 se muestran el número de movimientos, las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y el porcentaje relativo entre ambos aeropuertos.

Tabla 9.6: resultado del estudio comparativo entre las emisiones del aeropuerto de Córdoba y Tucumán de los contaminantes CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O

	Movimientos	CO <sub>2</sub> tn/año	CH <sub>4</sub> tn/año	N <sub>2</sub> O tn/año
<b>Córdoba</b>	23331	64980,54	51,81	3,35
<b>Tucumán</b>	9149	29.465,73	0,99	1,06
<b>% relativo</b>	39,21%	45,34%	1,91%	31,64%

Fuente: elaboración propia

El total de movimientos en el aeropuerto de Tucumán representa el 39,21% de los vuelos en el aeropuerto de Córdoba, los porcentajes relativos del dióxido de carbono y del dióxido de nitrógeno, aunque presentan una desviación no despreciable, están dentro de valores esperados si analizamos que el porcentaje de vuelos internacionales en el aeropuerto Ing. Taravella es mayor al de Tucumán. Con respecto al metano, la diferencia entre los valores es muy grande, se tendría que realizar un análisis en detalle de ambos métodos y de la flota que operó en ambos aeropuertos.

### Inventario de Chile

El objetivo de este trabajo de investigación es la estimación de las emisiones contaminantes producidas por el sector del transporte aéreo en Chile para el año 2015. Con respecto a la metodología para realizar el inventario 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).

Se tomó al aeropuerto de La Araucanía para comparación, el número de vuelos nacionales entre ambos aeropuertos es parecido, aunque para los vuelos internacionales la diferencia es mayor, pero en total de movimientos es el que más se aproxima al de Tucumán.

Tabla 9.7: resultado del estudio comparativo entre las emisiones del aeropuerto de La Araucanía y Tucumán para los contaminantes CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> y CO<sub>2</sub>, para vuelos nacionales

	Vuelos	CO tn/año	NO <sub>x</sub> tn/año	PM <sub>2,5</sub> tn/año	CO <sub>2</sub> tn/año
<b>La Araucanía</b>	8338	28,08	22,6	0,2	5343
<b>Tucumán</b>	8012	94,54	66,49	0,56	20.381,20
<b>% relativo</b>	104,06%	29,70%	33,99%	35,71%	26,21%

Fuente: elaboración propia

Los vuelos nacionales en el aeropuerto de la Araucanía son mayores a los de Tucumán, pero se observa en los resultados de la tabla 9.6 que los valores de los contaminantes emitidos son menores, representando aproximadamente un 30% de los que se calcularon para el aeropuerto en estudio.

Tabla 9.8: resultado del estudio comparativo entre las emisiones del aeropuerto de La Araucanía y Tucumán para los contaminantes CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> y CO<sub>2</sub>, para vuelos internacionales

	Vuelos	CO tn/año	NO <sub>x</sub> tn/año	PM <sub>2,5</sub> tn/año	CO <sub>2</sub> tn/año
<b>La Araucanía</b>	74	0,18	0,04	0	11
<b>Tucumán</b>	1137	19,23	45,9	0,27	9.084,53
<b>% relativo</b>	6,5%	0,93%	0,08%	No se compara	0,12%

Fuente: elaboración propia

Los vuelos internacionales en La Araucanía representan el 6,5% de los que se realizaron en Tucumán, mientras que las emisiones son menores al 1% relativo. Las diferencias que se observan tanto en los vuelos nacionales como internacionales pueden explicarse por el tipo de flota que operó en uno y otro aeropuerto, además por la metodología utilizada se tomó factores de emisión de aeronaves representativas.

### Evaluación de los resultados de acuerdo con E-PRTR

La E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register) en su reglamento (CE) No 166/2006 del Parlamento Europeo establece los umbrales de emisión a la atmosfera de los distintos contaminantes en toneladas por año. En la tabla 9.7 se muestra un fragmento del anexo II de dicho reglamento para los contaminantes en estudio y los umbrales correspondientes.

Tabla 9.9: fragmento del anexo II del reglamento (CE) No 166/2006 del Parlamento Europeo

Contaminante	Umbral de emisión a la atmosfera (kg/año)
Metano (CH <sub>4</sub> )	100.000
Monóxido de carbono (CO)	500.000
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	100 millones
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	10.000
Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano (NMVOC)	100.000
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> )	100.000
Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> )	150.000
Partículas (PM <sub>10</sub> )	50.000

Fuente: reglamento (CE) No 166/2006 del Parlamento Europeo

En la figura 9.1 se observa que las emisiones de CO<sub>2</sub>, comparativamente con el resto de las emisiones, es mucho mayor, pero está dentro de los valores admisibles de acuerdo con la E-PRTR. Así también los gases N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, que junto con el CO<sub>2</sub> son los responsables

del efecto invernadero, se encuentran por debajo de los valores umbrales de emisión a la atmosfera por año.

Con respecto a los gases que provocan la lluvia ácida  $SO_2$  y  $NO_x$ , los valores estimados están también por debajo de los umbrales de emisión que establece este reglamento. Lo mismo ocurre con los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (NMVOC).

Sobre el material particulado la guía para la elaboración del inventario de emisiones solo establece el factor de emisión para  $PM_{2,5}$ , mientras que el reglamento N° 166/2006 establece el umbral de emisión para  $PM_{10}$ , es por esto que no se realiza una evaluación de estas emisiones en el presente trabajo.

## 10-Conclusiones

En este trabajo se estimaron las emisiones en los ciclos de aterrizaje y despegue de las aeronaves en el aeropuerto internacional Teniente General Benjamín Matienzo de Tucumán, Argentina, siguiendo la metodología Tier 1 para la elaboración de un inventario de contaminantes atmosféricos para una terminal aérea propuesta por OACI. Estas estimaciones se hicieron para el año 2018 con el fin de cuantificar el aporte de gases a la atmosfera.

La metodología implementada utiliza como entrada los factores de emisión por contaminante, el número de ciclos LTO de las aeronaves en la estación aeroportuaria en el lapso de un año, divididos en vuelos nacionales e internacionales, así también dentro de los vuelos internacionales se discrimina entre vuelos de corta distancia (menores a 1000 mn) y larga distancia (mayores a 1000 mn).

En cuanto a los resultados, se han estimado las emisiones de los principales contaminantes que produjeron las aeronaves en las etapas de vuelo que están por debajo de los 3000 pies en toneladas por año, los cuales se muestran en la tabla 10.1. Se considera un total de 9.149 movimientos y como aeronave representativa se adopta el B737-400

Tabla 10.1: Total de emisiones para el año 2018 en tn/año

$SO_2$ tn/año	$CO_2$ tn/año	CO tn/año	$NO_x$ tn/año	NMVOC tn/año	$CH_4$ tn/año	$N_2O$ tn/año	$PM_{25}$ tn/año
9,28	29.465,73	113,77	112,39	5,47	0,99	1,06	0,83

Fuente: elaboración propia

De estos resultados se puede concluir, que con respecto a las emisiones de GEI ( $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$ ) representan el 99% de las emisiones totales de todos los gases considerados. El dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, responsables de la lluvia ácida, representan menos del 1% de las emisiones totales. Estas apreciaciones dan una idea del impacto que producen las operaciones de las aeronaves a nivel local, dentro del predio del aeropuerto y zonas cercanas.

La metodología utilizada toma factores de emisión representativos para un tipo de aeronave genérica, lo cual conlleva una diferencia entre el valor estimado y el valor real que puede llegar a ser bastante significativa.

En general los valores comparados se encuentran dentro de rangos aceptables. Cada metodología tiene supuestos diferentes y en consecuencia no se esperan valores exactamente iguales.

El impacto que produce la cantidad de contaminantes emitidos a la atmosfera se encuentra por debajo de los umbrales indicados por el reglamento 166/2006 del Parlamento Europeo.

## Bibliografía

Alejandro Augustin Chávez, 2013 “*Gestión de recursos de handling en aeropuertos congestionados*”.

<https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2013/112825/AgustiChavezAlejandro-TFGAa2012-13.pdf>  
[https://eana.com.ar/sites/default/files/2020-05/Informe%20Mensual%20Enero%202019%20V%20Extendida\\_0.pdf](https://eana.com.ar/sites/default/files/2020-05/Informe%20Mensual%20Enero%202019%20V%20Extendida_0.pdf)

Alejandro Ibrahim Perera. 2008 “*Las emisiones de CO2 en la aviación comercial*”.  
<http://www.divulgameteo.es/uploads/Emisiones-CO2-aviaci%C3%B3n.pdf>

Alejandro Núñez Baladrón. 2015. “*Concepto Aeropuerto Verde. Medidas de reducción de emisiones en aeropuertos y aplicación al Aeropuerto de Sevilla.*”.

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60327/fichero/Proyecto+Final+de+Carrera+-+Alejandro+N%C3%BA%C3%B1ez+Baladr%C3%B3n.pdf>

Alfonso Herrera García, Santiago Servín Caballero. 2012 “*Estrategia para reducir las emisiones de gases contaminantes en aeropuertos saturados. El caso del aeropuerto internacional de la ciudad de México.*”.

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt366.pdf>

Bianco, Anahi; Savanco, Marina; Urquiza, Josefina. 2017 “*Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes criterio de las fuentes móviles en la ciudad de Villa Carlos Paz*”. <http://www.adarsa.org.ar/wp-content/uploads/2018/03/inventario-gei-y-contaminantes-de-las-fuentes-moviles-en-vcp.pdf>

Bustamante Figueroa, Constanza Belen. 2015 “*Estimación de las emisiones contaminantes producidas por el sector de transporte aéreo en Chile para el año 2015*”  
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/43546/3560902038768UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carlos Galperín, María Victoria Lottici. Carlos Vallarino, Laura Daicz. 2014 “*Las medidas para controlar las emisiones de carbono de la aviación civil y el comercio exterior argentino*”.

(<https://www.researchgate.net/publication/319068937>)

Chury, Mario R. H.; Sota, Jorge D.; Wendler, Darío M. 2017. “*Monitoreo de material particulado y desarrollo de instrumental, caso de estudio ciudad de Concordia, er.*”.

<http://www.edutecne.utn.edu.ar/prodeca-proimca/actas-proimca-2017/IM116-material.pdf>

COCESNA, Programa regional de medioambiente y cambio climático de COCESNA. 2016 “*Aeropuertos y Medio Ambiente*”.

<http://clacsec.lima.icao.int/Reuniones/2016/Sem-CLAC/Presentaciones/26oct/05-Aeropuertos-MedAmbiente.pdf>

Comité Permanente de Medio Ambiente de ACI Mundo. 2009 “*Manual de Orientación: Gestión de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en los Aeropuertos*” [https://aci.aero/Media/aci/file/Publications/2010/Manual\\_de\\_orientacion-Gestion\\_de\\_las\\_emisiones\\_de\\_gases\\_de\\_efecto\\_invernadero\\_en\\_los\\_aeropuertos.pdf](https://aci.aero/Media/aci/file/Publications/2010/Manual_de_orientacion-Gestion_de_las_emisiones_de_gases_de_efecto_invernadero_en_los_aeropuertos.pdf)

Comité técnico ejecutivo Municipalidad de Bahía Blanca. 2016. “Programa: Monitoreo y Control de los Contaminantes del Agua y de la Atmósfera”.  
<http://www.bahia.gob.ar/subidos/cte/informes2016/2.1%20-%20Subprograma%20Monit%20Emisiones%20Gaseosas%20Industriales.pdf>

Cristina Alexandra Jurado Bolaños C.C.N.52.487.018, Yully Alexandra Lizcano Sandoval C.C.N.1.015.994.660. 2015 “Determinación de la huella de carbono en el aeropuerto internacional el dorado a la luz del protocolo greenhouse gas (GHG)”.  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10671/HUELLA%20DE%20CARBONO%20AEROPUERTO%20%20EL%20DORADO%20%20PROTOCOLO%20GHG.pdf?sequence=1>

EANA. Navegación Aérea Argentina. 2018 “ANUARIO ESTADÍSTICO 2018”.  
<https://datos.anac.gob.ar/static/docs/Anuario%202018%20Ultimo%2022-03-2019%20web.pdf>

EANA Navegación Aérea Argentina, Ministerio de Transporte de Argentina. 2019 “Informe mensual enero 2019”  
[https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/1773/1/Dokument\\_33.pdf](https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/1773/1/Dokument_33.pdf)

EPA 2018 “Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks 1990-2016”.  
[https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/2018\\_complete\\_report.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/2018_complete_report.pdf)

Gustavo Alonso Rodrigo, Arturo Benito Ruiz de Villa. 2012. “El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo”.  
[http://oa.upm.es/20345/1/INVE\\_MEM\\_2012\\_133532.pdf](http://oa.upm.es/20345/1/INVE_MEM_2012_133532.pdf)

José Luis Rofa Barragán. 2016. “Estudio de Emisiones Contaminantes en la Aviación Comercial y su Impacto en el Medio Ambiente”.  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60374/fichero/Emisiones+Contaminantes+-+PFC+v5+-+Jose+Luis+Rofa+Barragan.pdf>

Josefina Urquiza, Leonardo Marques, Marina Rega, Lucia Movsesian y Sebastián Diez4. “Caracterización de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Actividad Aeroportuaria. Caso de Estudio: Aeropuerto Internacional Córdoba”  
REVISTA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

Julia Municio Llanes. “Elaboración de inventarios de emisiones en aeropuertos.”  
<http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/40945.pdf>

LRTAP, European Environment Agency. 2016. “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 Technical guidance to prepare national emission inventories”.  
<https://www.eea.europa.eu/themes/air/national-emission-ceilings>

Luisana Urbaneja Marcano. 2016 “Estimación de emisiones de los ciclos de aterrizaje y despegues de aeronaves en el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid Barajas”.  
[http://oa.upm.es/42931/1/TFG\\_LUISANA\\_CAROLINA\\_URBANEJA\\_MARCANO.pdf](http://oa.upm.es/42931/1/TFG_LUISANA_CAROLINA_URBANEJA_MARCANO.pdf)

Luxembourg. 2016. EEA. "1.A.3.a Aviation 2016",  
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-a-aviation-2016/view>

Marc Guevara Vilardell. 2010. "Inventario de emisiones atmosféricas de puertos y aeropuertos de España para el año 2008".

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10640/PFC\\_Memoria.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10640/PFC_Memoria.pdf)

Matías Coppa; Nahuel Tomassini; Juan Ignacio D'Iorio, Alejandro Di Bernardi. "CALCULO DE APORTE CONTAMINANTE GASEOSO EN LOS PRINCIPALES AEROPUERTOS Y RUTAS ARGENTINAS" 2013. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/72205>

Mauricio Gaitan Varon, Paula Andrea Cardenas Ruiz. 2017. "Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas".

[http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones\\_atmosfericas\\_contaminantes/documentos\\_relacionados/GUIA\\_PARA\\_LA\\_ELABORACION\\_DE\\_INVENTARIOS\\_DE\\_EMISIONES\\_ATMOSFERICAS.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2017. Presidencia de la Nación. "Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero".

<https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>

Monteagudo, Juan P.; Coppa, Matías; D'Iorio, Juan I. y Di Bernardi, Alejandro 2015. "Análisis comparativo entre el ciclo LTO y los tiempos reales de operación en los 10 principales aeropuertos de la Argentina". <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47369>

Organización de Aviación Civil Internacional. Doc. 9184 "Manual de planificación de aeropuertos. Parte2: Utilización del terreno y control del medio ambiente". Tercera edición 2002. [https://www.icao.int/sam/documents/2013-birdh-std/9184\\_p2\\_cons\\_es.pdf](https://www.icao.int/sam/documents/2013-birdh-std/9184_p2_cons_es.pdf)

Parlamento Europeo "REGLAMENTO (CE) No 166/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO" 2006

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R0166-20090807&from=EN>

Sbarato, D. et. al. Emisiones de Contaminantes en el Aeropuerto Internacional Córdoba. Argentina. "Teoría del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Generados por Aeropuertos.". <https://docplayer.es/15401837-Teoria-del-inventario-de-emisiones-de-contaminantes-atmosfericos-generados-por-aeropuertos.html>

Schaefer, Martin. (2006). "Methodologies for Aviation Emission Calculation - A comparison of alternative approaches towards 4D global inventories". 2006  
[https://www.researchgate.net/publication/224986866\\_Methodologies\\_for\\_Aviation\\_Emission\\_Calculation\\_-\\_A\\_comparison\\_of\\_alternative\\_approaches\\_towards\\_4D\\_global\\_inventories](https://www.researchgate.net/publication/224986866_Methodologies_for_Aviation_Emission_Calculation_-_A_comparison_of_alternative_approaches_towards_4D_global_inventories)

SODECAN. 2015. "Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en canarias".

<https://mdc.ulpgc.es/utills/getfile/collection/MDC/id/113164/filename/150608.pdf>

Xavier Oh, ACI, Montreal. 2015 “*Airport GHG and other Environmental Management. ICAO Environmental Seminar* ”.  
[https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/2015-Dubai/8-2\\_Airport-GHG\\_Other-Environmental-Management-xoh.pdf](https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/2015-Dubai/8-2_Airport-GHG_Other-Environmental-Management-xoh.pdf)

## ANEXO I

Tablas con los factores de emission para la metodología Tier 1 y Tier 2

Table 3–3 Emission factors and fuel use for the Tier 1 methodology using jet kerosene as fuel. Emission factors are given on a representative aircraft basis

Tier 1 emission factors									
Domestic	Fuel	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	PM <sub>2.5</sub>
LTO (kg/LTO) — average fleet (B737-400)	825	0.8	2600	11.8	8.3	0.5	0.1	0.1	0.07
LTO (kg/LTO) — old fleet (B737-100)	920	0.9	2900	4.8	8.0	0.5	0.1	0.1	0.10
Cruise (kg/tonne) — average fleet (B737-400)	-	1.0	3150	2.0	10.3	0.1	0	0.1	0.20
Cruise (kg/tonne) — old fleet (B737-100)	-	1.0	3150	2.0	9.4	0.8	0	0.1	0.20
International	Fuel	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	PM <sub>2.5</sub>
LTO (kg/LTO) — average fleet (B767)	1617	1.6	5094	6.1	26.0	0.2	0.0	0.2	0.15
LTO (kg/LTO) — average fleet (short distance, B737-400)	825	0.8	2600	11.8	8.3	0.5	0.1	0.1	0.07
LTO (kg/LTO) — average fleet (long distance, B747-400)	3400	3.4	10717	19.5	56.6	1.7	0.2	0.3	0.32
LTO (kg/LTO) — old fleet (DC10)	2400	2.4	7500	61.6	41.7	20.5	2.3	0.2	0.32
LTO (kg/LTO) — old fleet (short distance, B737-100)	920	0.9	2900	4.8	8.0	0.5	0.1	0.1	0.10
LTO (kg/LTO) — old fleet (long distance, B747-100)	3400	3.4	10754	78.2	55.9	33.6	3.7	0.3	0.47
Cruise (kg/tonne) — average fleet (B767)	-	1.0	3150	1.1	12.8	0.5	0.0	0.1	0.20
Cruise (kg/tonne) — old fleet (DC10)	-	1.0	3150	1.0	17.6	0.8	0.0	0.1	0.20

**Fuente: EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013 update July 2014**

**Table 3-5 Examples of aircraft types and emisión factors for LTO cycles as well as fuel consumption per aircraft type, kg/LTO**

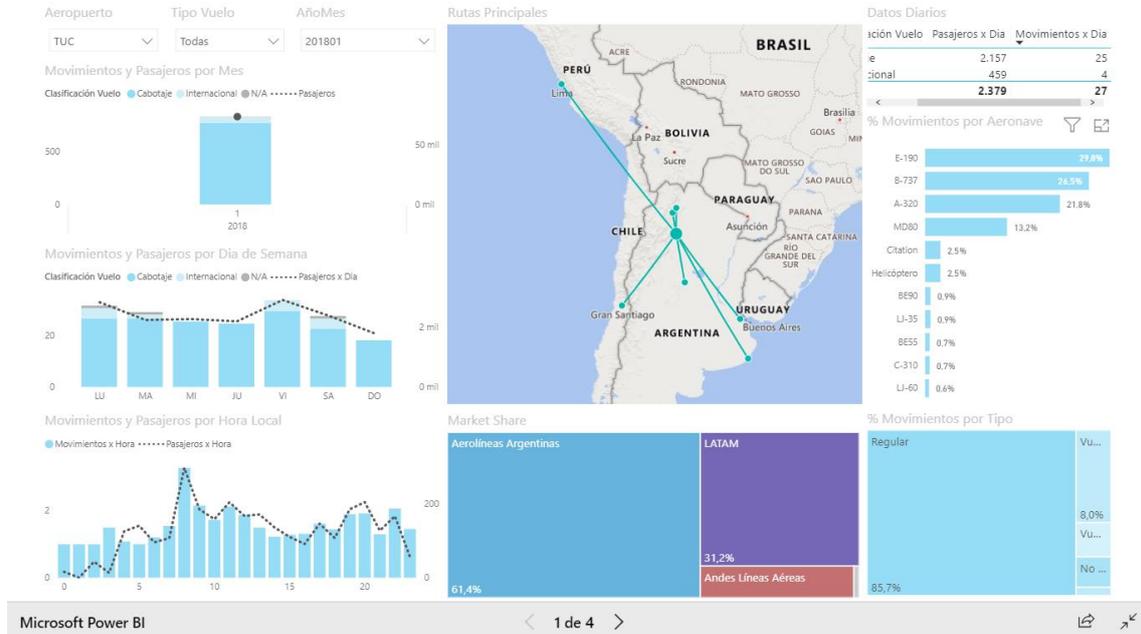
Aircraft Icao	# of engines	CO <sub>2</sub> _kg	NO <sub>x</sub> _kg	CO_kg	HC_kg	H <sub>2</sub> O_kg	PM <sub>2.5</sub> _g	BurntFuel_kg
A306	2	5427.9	25.9	14.8	1.2	2119.5	0.1	1723.1
A310	2	4745.8	19.5	28.7	6.5	1853.1	0.1	1506.6
A319	2	2169.8	7.5	9.5	2.0	847.2	0.1	688.8
A320	2	2750.7	10.8	5.5	0.1	1074.1	0.1	873.3
A332	2	7029.3	35.6	16.2	1.3	2744.8	0.1	2231.5

A333	2	5934.6	27.6	13.0	1.0	2317.3	0.1	1884.0
A343	4	6362.6	34.8	25.2	3,9	2484.5	0.3	2019.9
A345	4	5867.3	28.3	26,2	4.2	2291.0	0.2	1862.6
A346	4	10624.8	64.7	15.0	0.2	4148.7	0.2	3373.0
A388	4	13048.6	67.3	29.6	0.4	5095.2	0.2	4142.4
B737	2	2454.5	9.1	8.0	0.9	958.4	0.1	779.2
B738	2	2775.5	12.3	7.1	0.7	1083.8	0.1	881.1
B742	4	9684.9	47.5	27.5	3.2	3781.7	0.2	3074.6
B743	4	10806.0	57.0	18.3	2.5	4219.5	0.2	3430.5
B744	4	10457.0	44.5	25.3	2.1	4083.2	0.2	3319.7
B752	2	4292.2	15.0	12.3	0.2	1676.0	0.1	1362.6
B753	2	4610.5	17.9	11.6	0.1	1800.3	0.1	1463.6
B762	2	4607.4	23.8	14.8	3.3	1799.1	0.1	1462.7
B763	2	5590.6	28.2	14.5	1.2	2183.0	0.1	1774.8
B772	2	7346.1	55.8	12.6	0.5	2868.5	0.1	2332.1
B773	2	7588.0	63.3	17.7	2.0	2962.9	0.1	2408.9
B77L	2	9736.1	69.8	47.5	5.1	3801.7	0.2	3090.8
B77W	2	9298.0	61.2	48.1	5.3	3630.7	0.2	2951.8
DC10	3	7263.7	35.7	20.6	2.4	2836.3	0.2	2305.9
DC85	4	4745.8	19.5	28.7	6.5	1853.1	0.1	1506.6
DC87	4	5339.9	15.6	26.3	1.5	2085.1	0.1	1695.2
F2TH	2	535.3	1.3	5.2	1.6	209.0	0.0	169.9
MD11	2	8277.9	38.2	18.3	1.4	3232.3	0.2	2627.9
T154	3	5939.9	12.0	82.9	13.2	2319.4	0.2	1885.7

Fuente: guía EMEP/EEA 2009

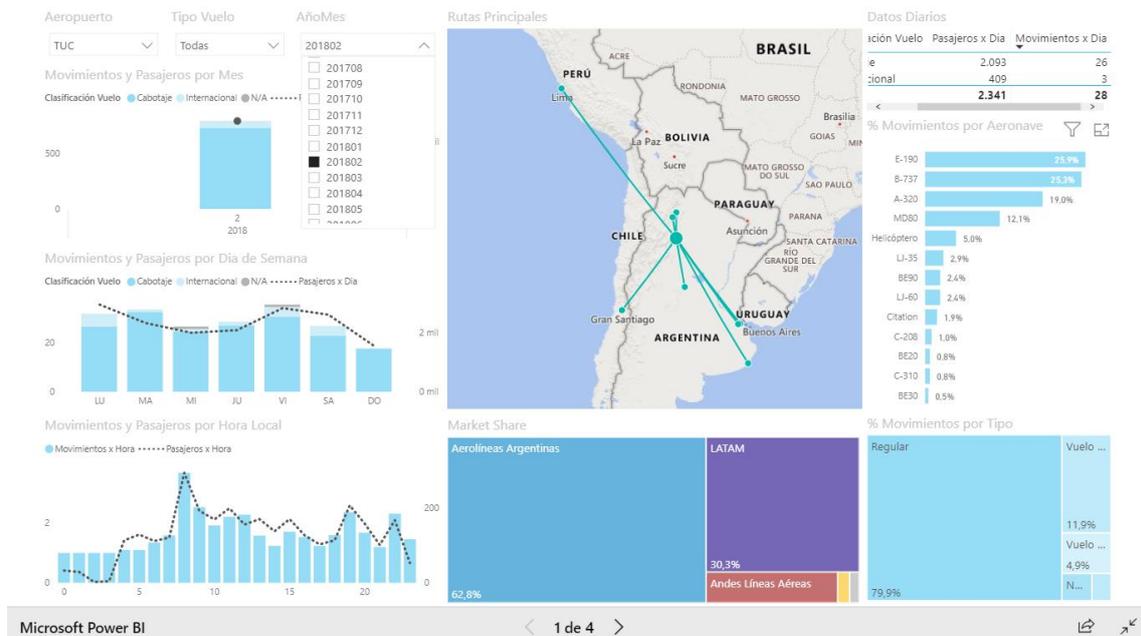
## Anexo II

Estadísticas de ANAC referidas al movimiento de aeronaves y de pasajeros desde enero hasta diciembre del año 2018



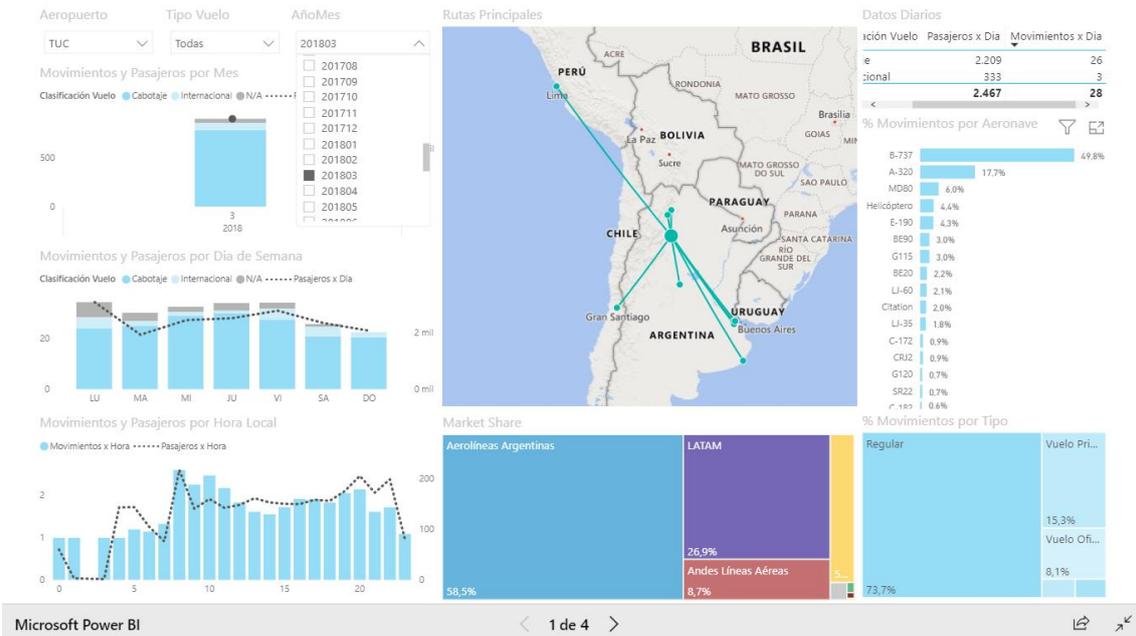
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas

<https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/>

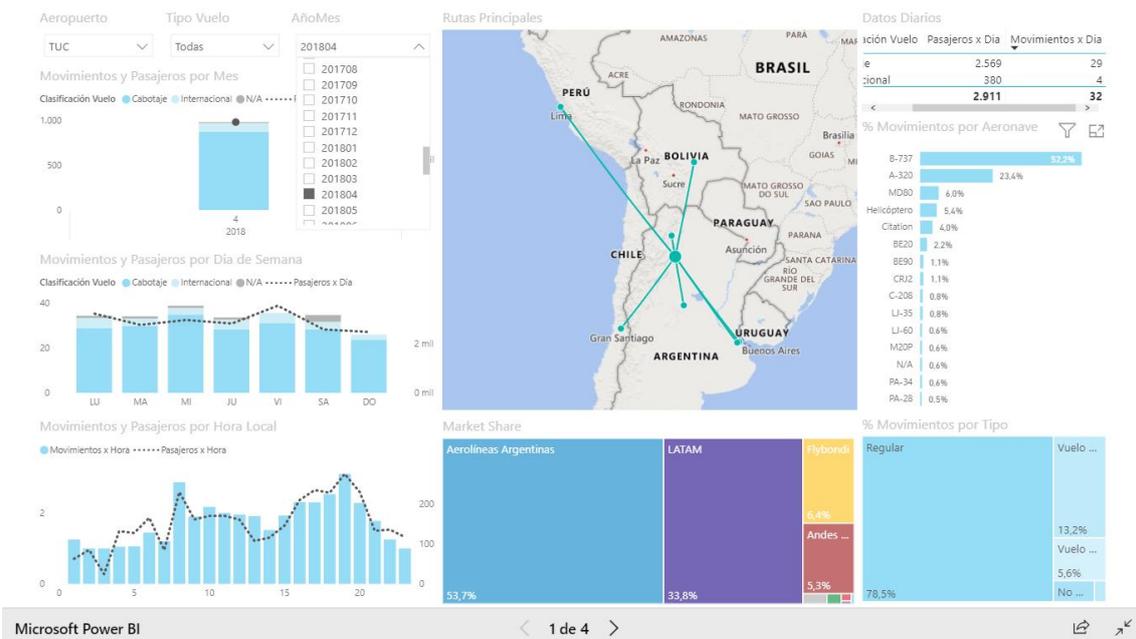


Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas

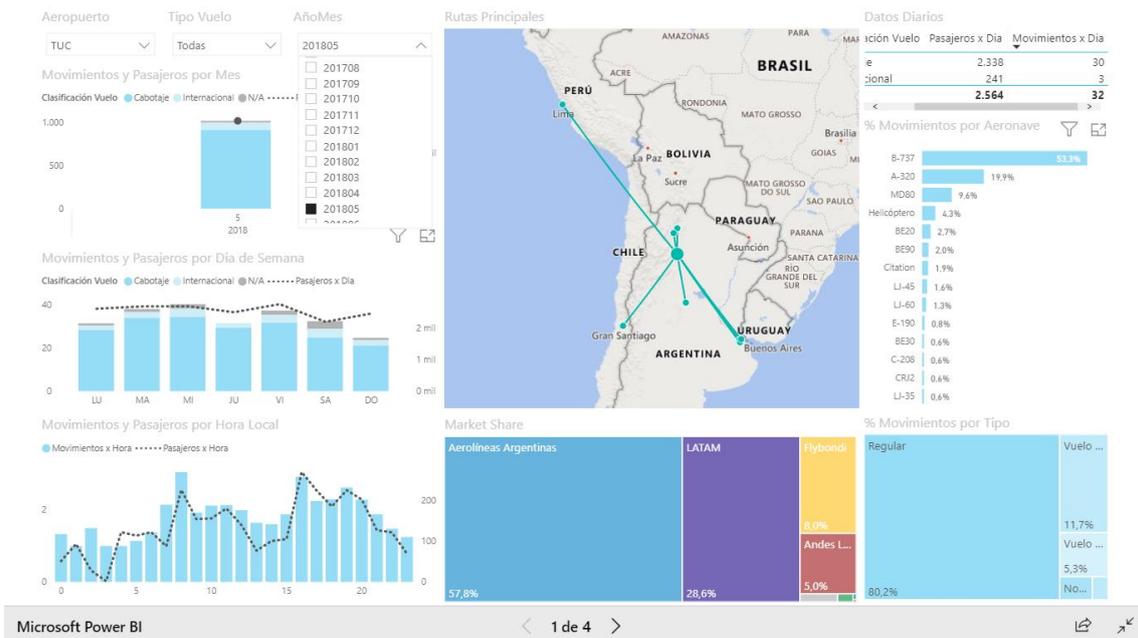
<https://datos.anac.gob.ar/estadisticas/>



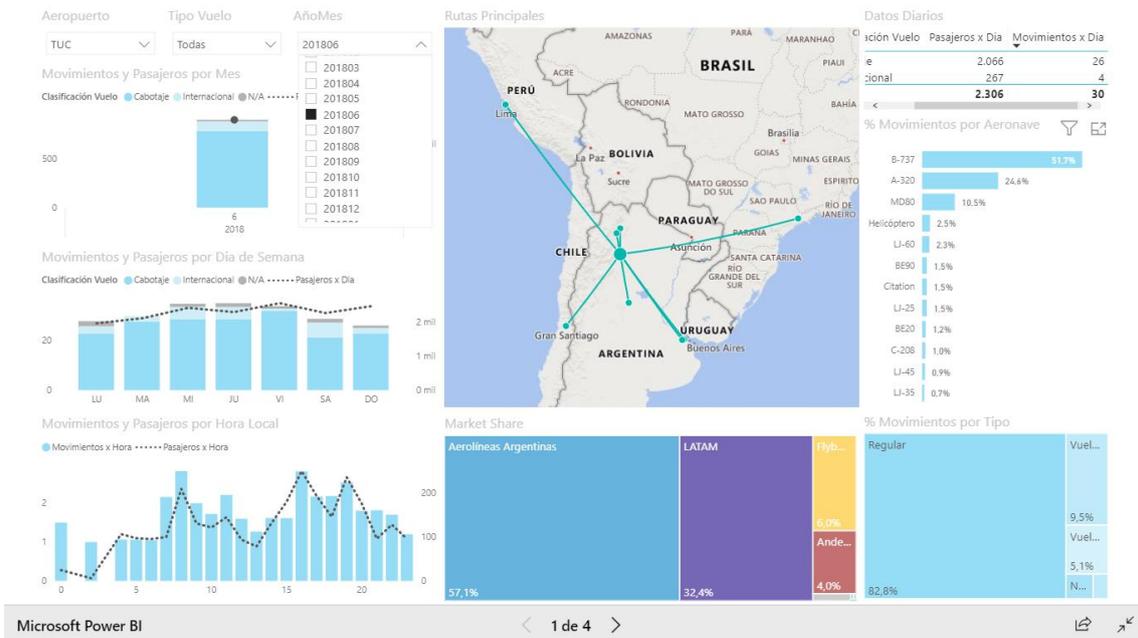
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



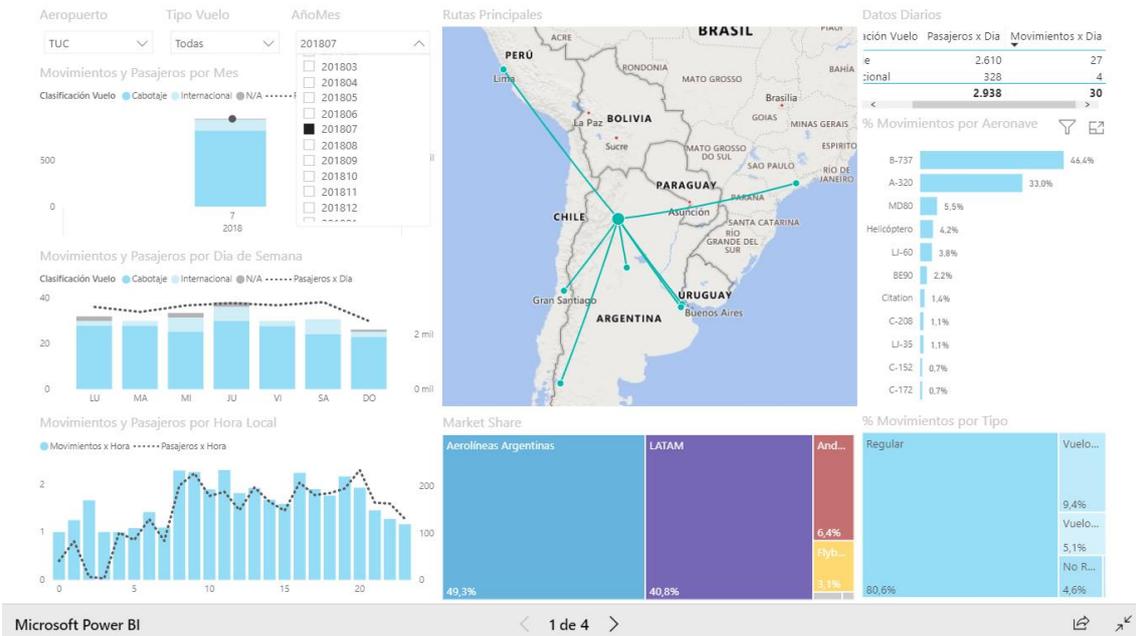
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



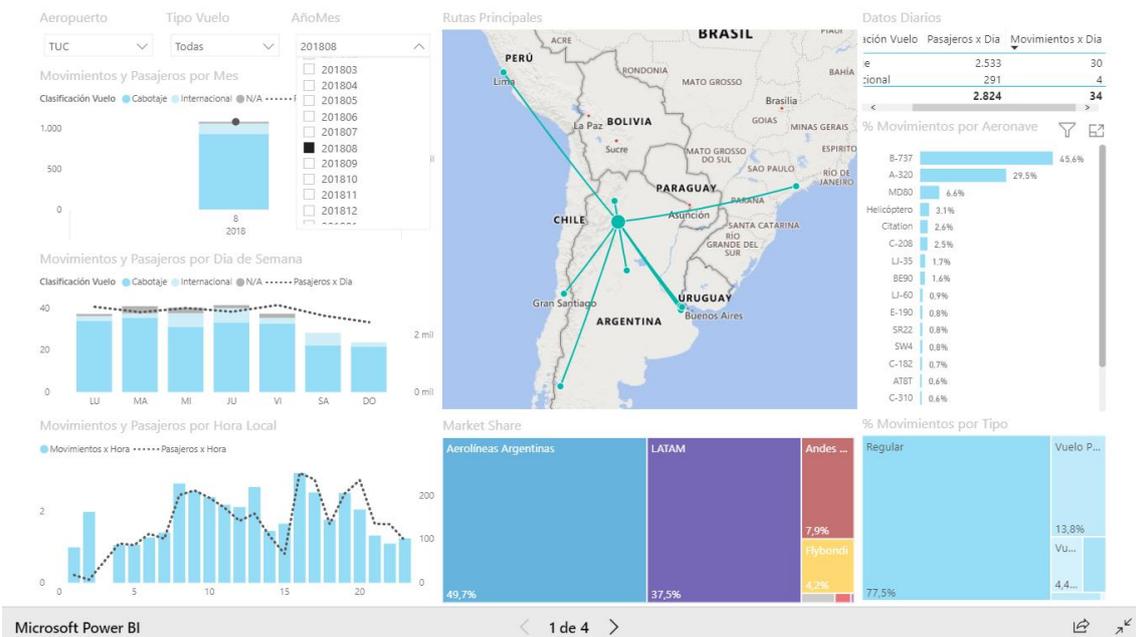
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



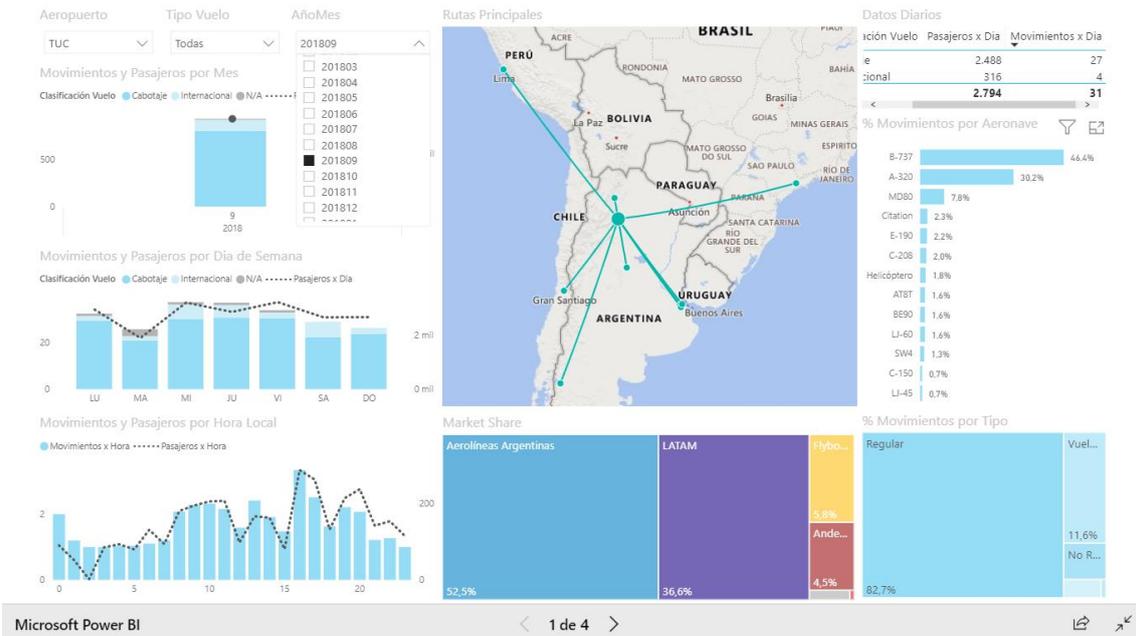
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



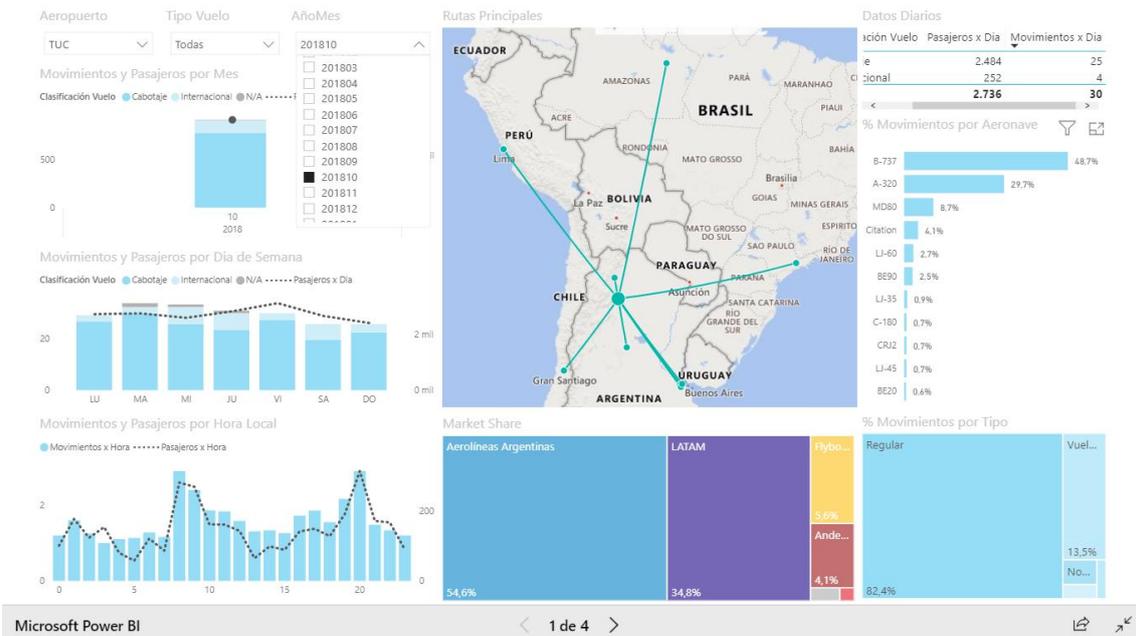
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



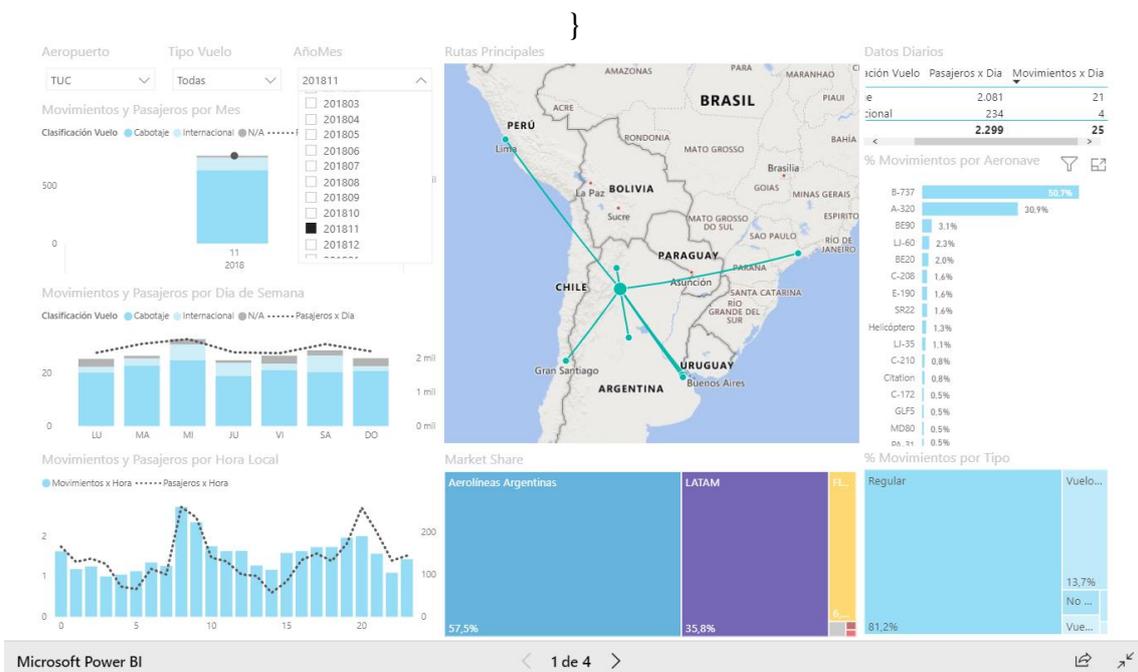
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



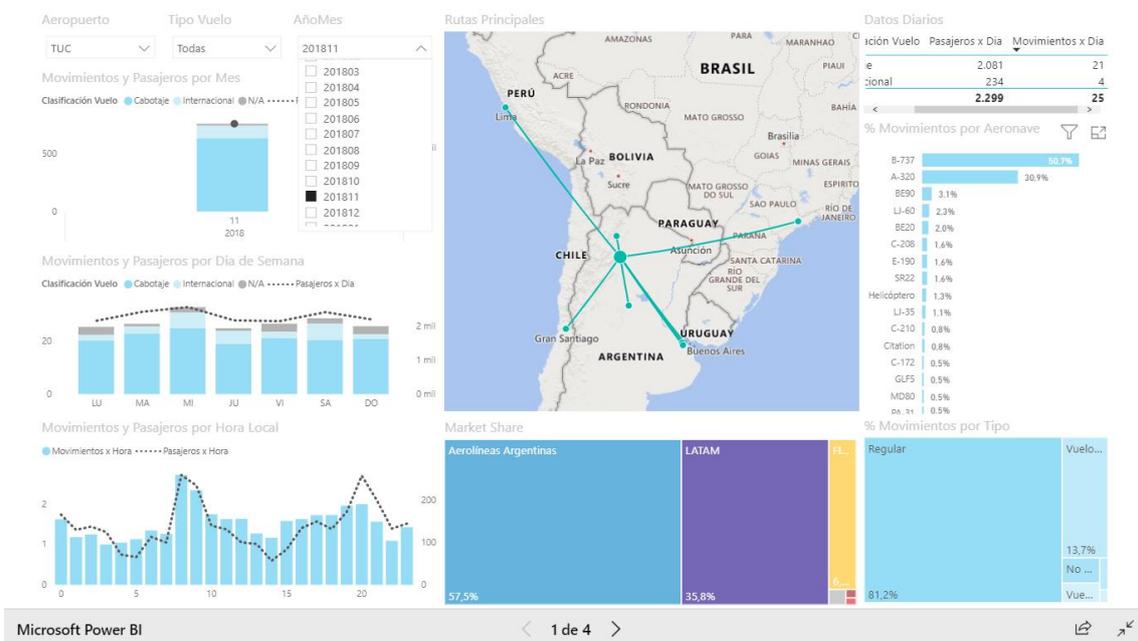
Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>



Fuente: Pagina ANAC Aviación Civil Argentina-Estadísticas  
<https://datos.anac.gov.ar/estadisticas/>