

## ANÁLISIS DEL APORTE GASEOSO CONTAMINANTE EN LA REGION OACI - CAR EN CICLOS LTO

Nahuel Tomassini<sup>a</sup>, Matías Coppá<sup>a</sup>, Juan Ignacio D'Iorio<sup>a</sup>, Alejandro Di Bernardi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Transporte Aéreo GTA – UID “GTA-GIAI” - Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina  
tomassininahuel@gmail.com

### RESUMEN:

*El presente es un trabajo sobre el aporte de contaminante gaseoso durante un ciclo LTO (Landing - Take Off) realizado por aeronaves comerciales de transporte de pasajeros y carga. El documento describe aspectos globales relacionados con la situación de las aerolíneas operativas, a marzo del 2012, en los países integrantes de la región CAR de OACI. Se realiza un listado de las compañías aéreas operativas para luego pasar a la caracterización de su respectiva flota. En ésta caracterización se detallan aspectos relacionados a: cantidad, tipo de fuselaje, fabricante y motorización. Luego, analizando la planta poder, se comparan los aportes de contaminantes gaseosos para un ciclo LTO completo de cada aeronave. Con los resultados anteriores podemos determinar la contribución a la masa gaseosa por compañía, país, y finalmente la región completa.*

*This is a study of the contribution of gaseous emissions in a LTO cycle (Landing - Take Off) performed by commercial aircraft (passenger and cargo). The document describes global issues related to operating airlines to March, 2012 in ICAO CAR region countries. A list of airlines in operation was made, and then were characterized, i.e. type and model of aircraft, quantity, type of fuselage, manufacturer and engines. Then, according to the power plant's contribution, a comparison of gaseous emissions in a LTO cycle by aircraft was made. The contribution to the gaseous mass by company, country, and finally the entire region is finally determined.*

**Palabras clave:** CAR, flota, motores, LTO, contaminantes.

### INTRODUCCIÓN

Hacia el año 2012 existían en el mundo unas 25.400 aeronaves comerciales que realizaban un promedio de 30.000.000 de operaciones al año [1]. Las prognosis estiman que este número se duplicará en los próximos 20 años, razón por la cual es necesario cuantificar y reducir los impactos que produce la actividad. En ese contexto, resulta conveniente definir un punto de partida en lo que respecta a la división de éste total de aeronaves por fabricantes a nivel global, lo cual en los siguientes gráficos se representan las aeronaves y planta poder asociadas de las principales aerolíneas comerciales.

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

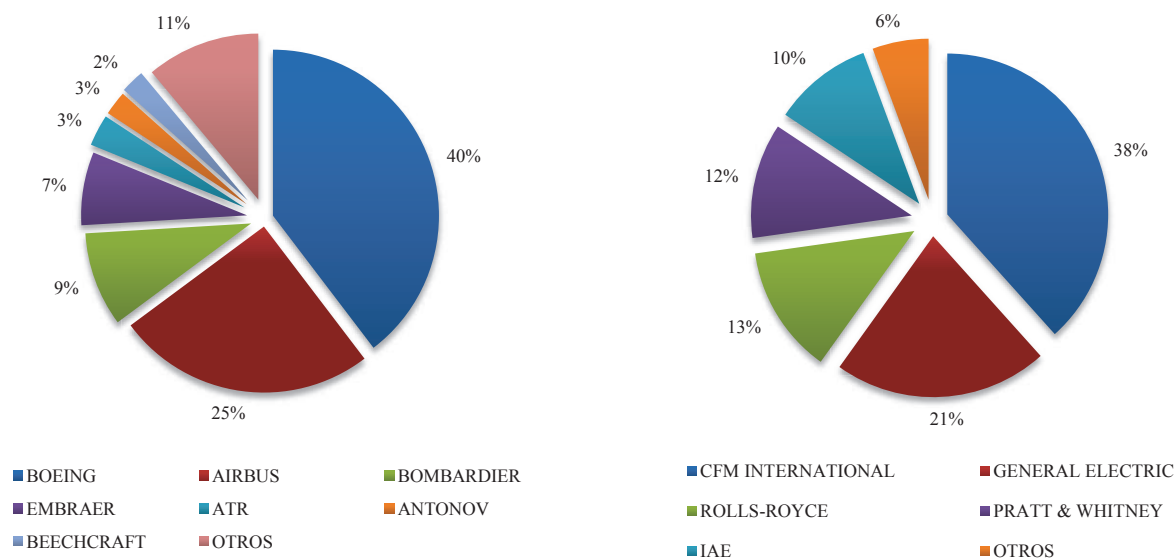


Figura 1. Distribución mundial de aeronaves y motores según fabricantes. [1]

Por otra parte, con objeto de mostrar la distribución de las mismas en las diferentes regiones mundiales, se presenta una mapa resumen comparativo de carácter cualitativo:

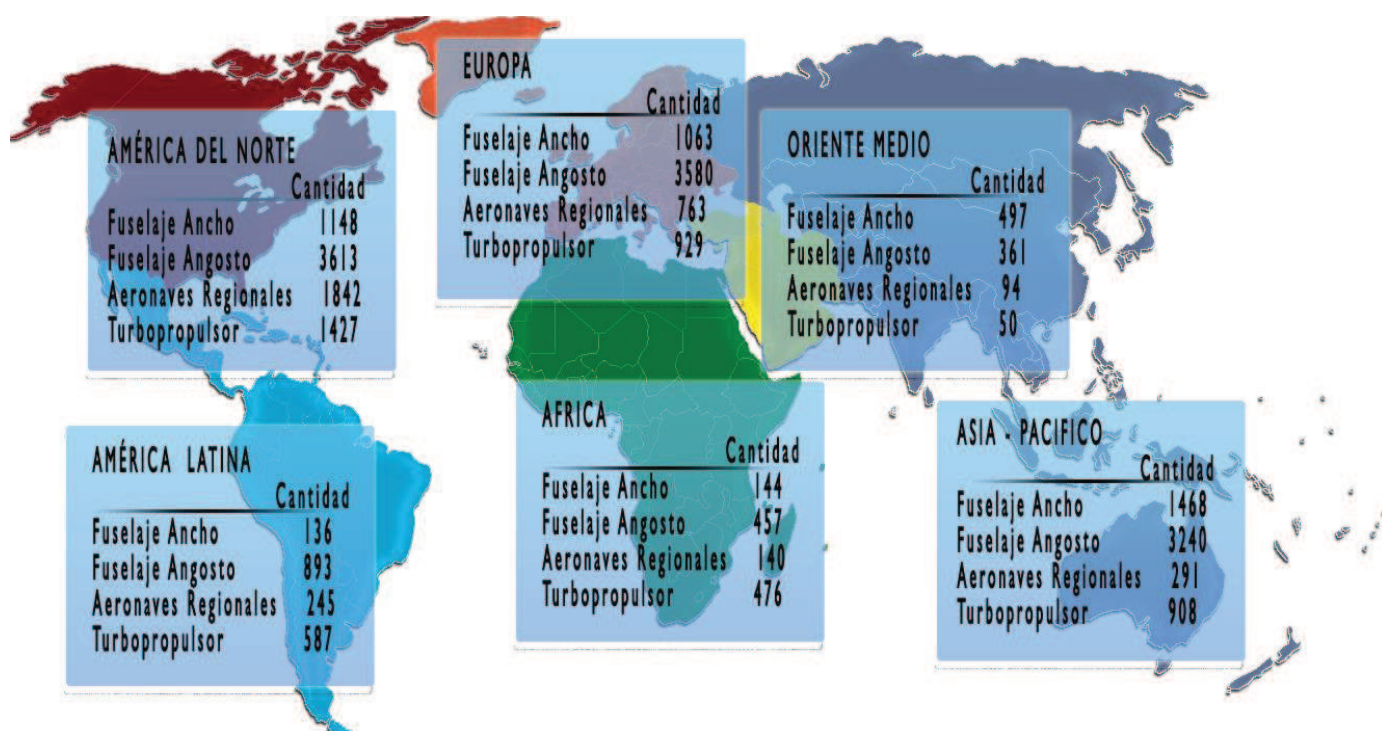


Figura 2 Distribución de aeronaves en las distintas regiones del mundo. [2]

Tomassini, Coppa, D’lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

En cuanto a la distribución del tráfico de pasajeros a nivel mundial, en el 2012 el transporte aerocomercial alcanzó los 3 billones de pasajeros. Sobre la base de datos de las 200 aerolíneas que han registrado mayor cantidad de personas transportadas, se muestra la distribución por regiones:

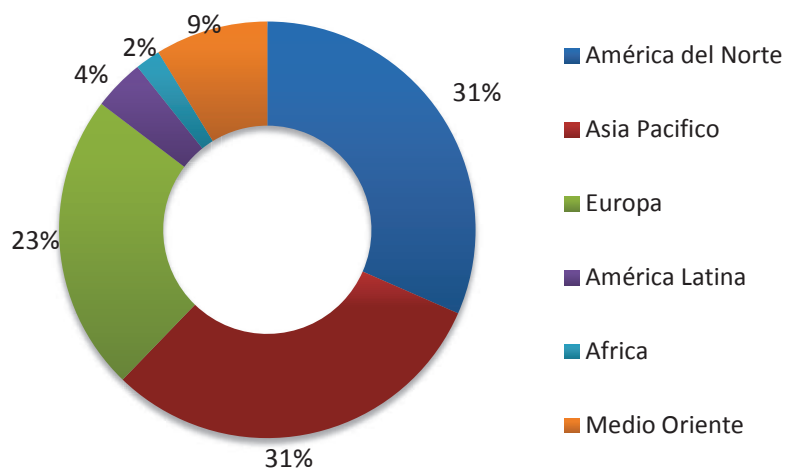


Figura 3. Tráfico de pasajeros en el mundo [3]

Asociado a este tráfico de pasajeros, se muestra a continuación el factor de ocupación promedio discriminado por regiones:

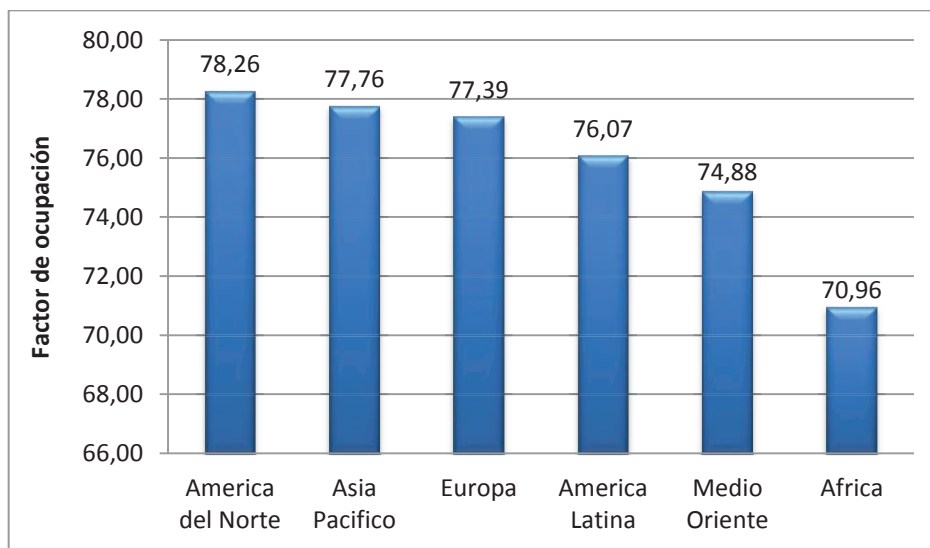


Figura 4. Factor de ocupación por regiones [3]

La región CAR de OACI está compuesta por 33 países, de los cuales se muestra a continuación los analizados:

Tomassini, Coppa, D’lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.



Figura 5. Mapa región OACI CAR

En cuanto a los aspectos de la actividad aerocomercial, la región CAR presenta un paulatino y sostenido crecimiento desde algunos años, con México a la cabeza y como principal exponente de éste desarrollo. Siempre en niveles de progreso dentro de los promedios mundiales referidos al tráfico de pasajeros, pero que, comparado con tiempos pasados, cobran una importancia aún mayor. Para el año 2012, la aerolínea Aeroméxico Connect se encontraba en el puesto número 18 a nivel mundial en la categoría “Transporte Regional”, registrando así un crecimiento del 16% con respecto al periodo anterior y llegando a transportar 3.7 millones de pasajeros según datos comerciales del año 2011. [3]

Este crecimiento por parte de la región trae aparejado el consecuente aumento en emisiones contaminantes a la atmosfera, que resulta útil cuantificar. A continuación se presenta una breve reseña del fenómeno del quemado de combustible aeronáutico convencional (Jet A-1). Las cantidades totales de gases emanados dependerán de ciertos factores tales como el tipo de combustible utilizado, la riqueza de la mezcla, la cantidad de combustible, el mantenimiento de la cámara de combustión o del motor en general, entre otros.

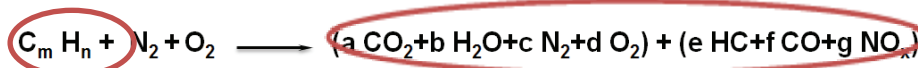
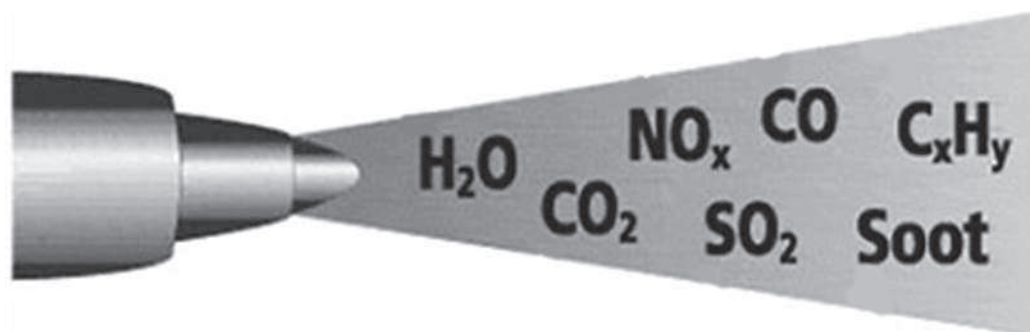


Figura 6. Emisiones contaminantes debido al quemado de combustible aeronáutico.

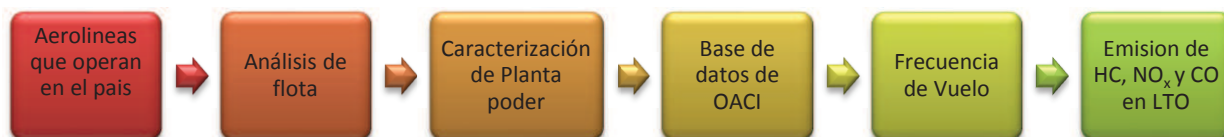
Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

La identificación y cuantificación de estas emisiones ha sido uno de los objetivos principales de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), que mediante el Comité sobre la Protección del Medioambiente y la Aviación (CAEP), ha desarrollado normativa para el desarrollo del transporte aéreo sustentable.

## METODOLOGIA

Inicialmente se obtuvieron las características de las flotas de todas las aerolíneas que operan en la región, es decir, fabricante, modelo, matrícula y fecha de fabricación, con el objeto de obtener la planta poder específica de cada aeronave. Utilizando la base de datos de emisiones contaminantes de OACI [4], se analizaron las cantidades de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno aportados por cada ciclo LTO (Landing–Take-Off) para todas las aeronaves bajo estudio.

Con la intención de determinar las emisiones de gases contaminantes se ha desarrollado una metodología; en el siguiente diagrama sintético se observa el procedimiento aplicado:



**Figura 7.** Metodología aplicada

Los contaminantes analizados fueron:

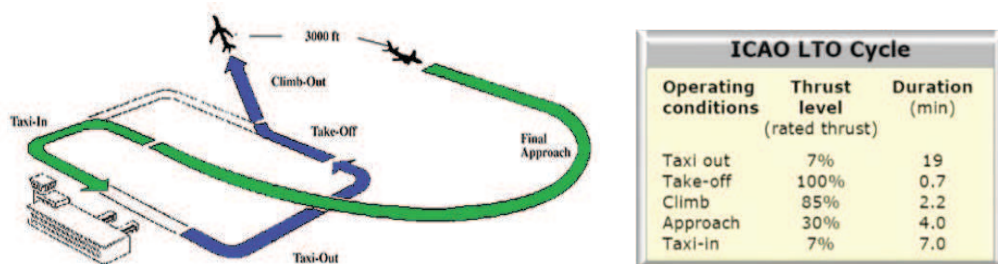
- Hidrocarburos no quemados (HC).
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- Monóxido de carbono (CO).

Los cálculos se realizaron para un ciclo LTO (Landing – Take-Off). El mismo incluye las siguientes fases operacionales:

- *Landing*: 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*: maniobras que realiza el avión hasta llegar a su puesto de estacionamiento en plataforma, en condición de *Block-On* (calzos colocados).
- *Taxi out*: son las maniobras que realiza el avión desde el *Block-Off* (calzos afuera) hasta llegar a la cabecera de pista.
- *Take off*: son las operaciones que realiza el avión en la pista para lograr el despegue.
- *Climbout*: son las operaciones que realiza el avión hasta alcanzar los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto.

Se presentan a continuación, según OACI, los empujes y duración de la condición operativa del ciclo LTO.

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.



**Figura 8.** Representación del ciclo Landing – Take-Off

Luego se caracterizó la flota operativa de la región, teniendo en cuenta los siguientes factores: fabricante, modelo, planta poder, año de fabricación y tipo de fuselaje. Para la obtención de los contaminantes citados fueron considerados los datos de motores tipo turbo fan existentes en la base de datos de OACI; para los motores turbohélice se utilizan datos experimentales [5].

Los contaminantes por motor son los aportados en un ciclo LTO; el combustible aeronáutico posee las siguientes especificaciones [6]:

**Tabla 1 .** Propiedades del combustible aeronáutico estudiado

Propiedad	Gama permisible de valores
Densidad, kg/m <sup>3</sup> a 15 °C	780 – 820
Temperatura de destilación, °C 10% del punto de ebullición	155 – 201
Punto final de ebullición	235 – 285
Calor neto de combustión, MJ/kg	42,86 – 43,50
Aromáticos, % de volumen	15 – 23
Naftalinas, % de volumen	1,0 – 3,5
Punto de humo, mm	20 – 28
Hidrógeno, % de masa	13,4 – 14,3
Azufre, % de masa	menos de 0,3%
Viscosidad cinemática a –20°C, mm <sup>2</sup> /s	2,5 – 6,5

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

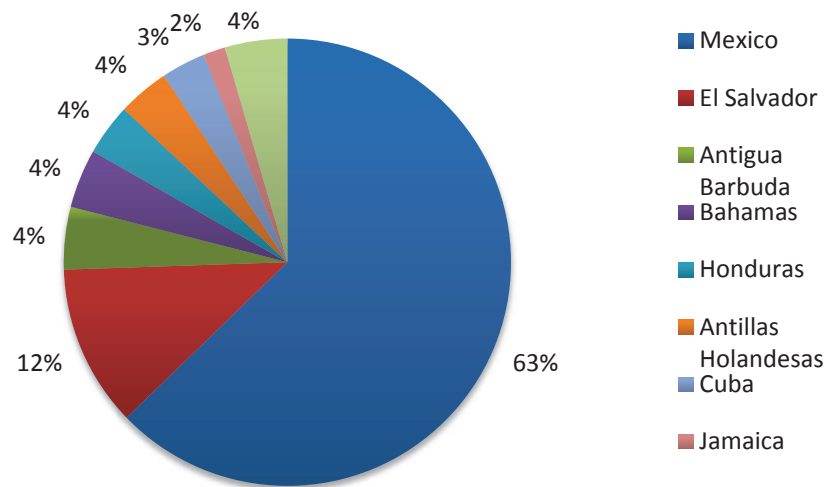
En la siguiente tabla, a modo de resumen, se muestra el estado actual de la región CAR respecto a la flota aerocomercial de transporte:

**Tabla 2.** Tabla resumen de región OACI CAR

Cantidad de países que la componen	33
Cantidad de aerolíneas	43
Cantidad de aeronaves	376
Edad promedio del total de la flota	13 años

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se detalla a continuación la distribución de aeronaves en la región



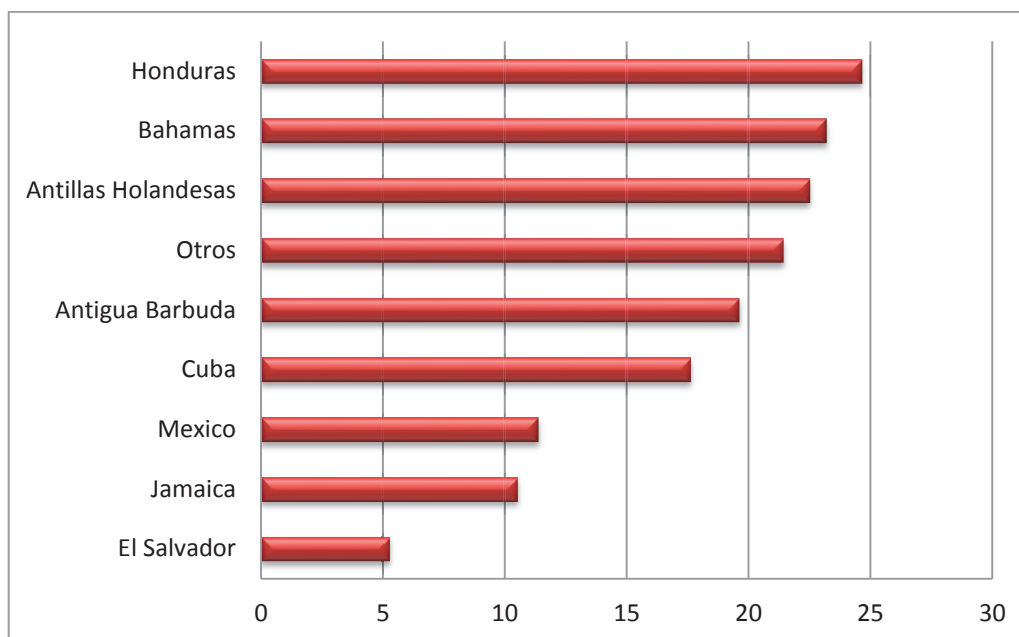
**Figura 9.** Distribución de aeronaves en la región CAR

Es notable el liderazgo de México frente al resto de los países de la región. Es por ello que este país será el que defina en un mayor porcentaje la huella gaseosa contaminante en la misma.

Continuando con la evaluación de los datos obtenidos, se especifica la edad promedio de la flota por país.

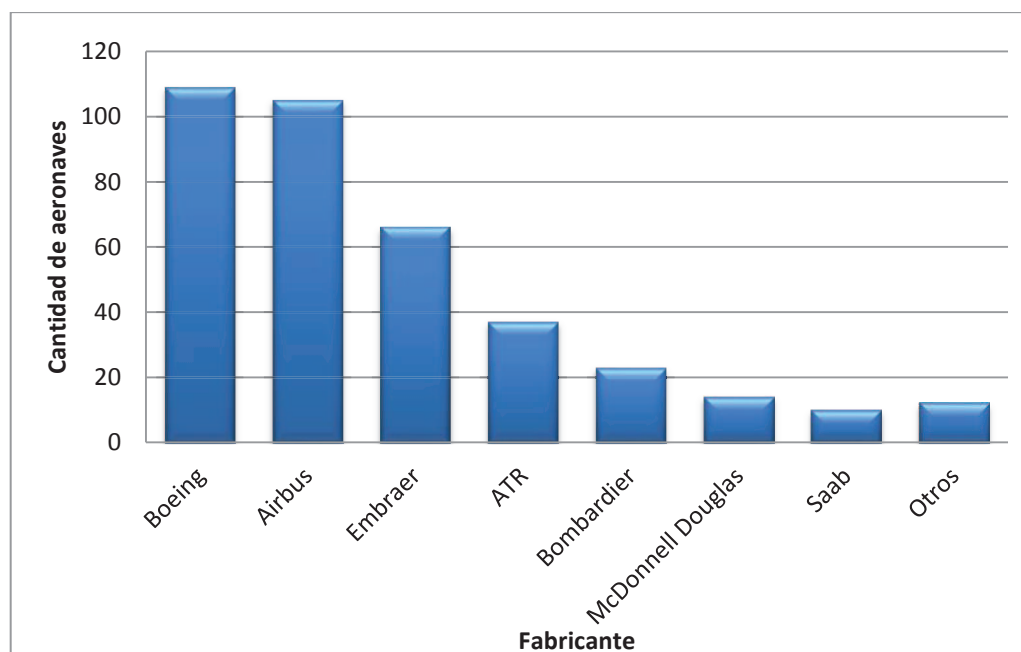
Las edades promedio máximas no llegan a los 25 años, manteniéndose entre 15 y 25; esto se debe a la poca actividad aerocomercial que tienen esos países con aerolíneas propias y, por ende, no poseen la capacidad suficiente para renovar su flota. Se observa que México, además de tener la mayor cantidad de aeronaves, posee un promedio por debajo de la media de la región.

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.



**Figura 10.** Edad Promedio de la flota por país.

En el caso de El Salvador, se entiende que su bajo promedio se debe a que al momento del estudio solo había una aerolínea operativa (TACA), compañía aérea con una alta actividad en la región.

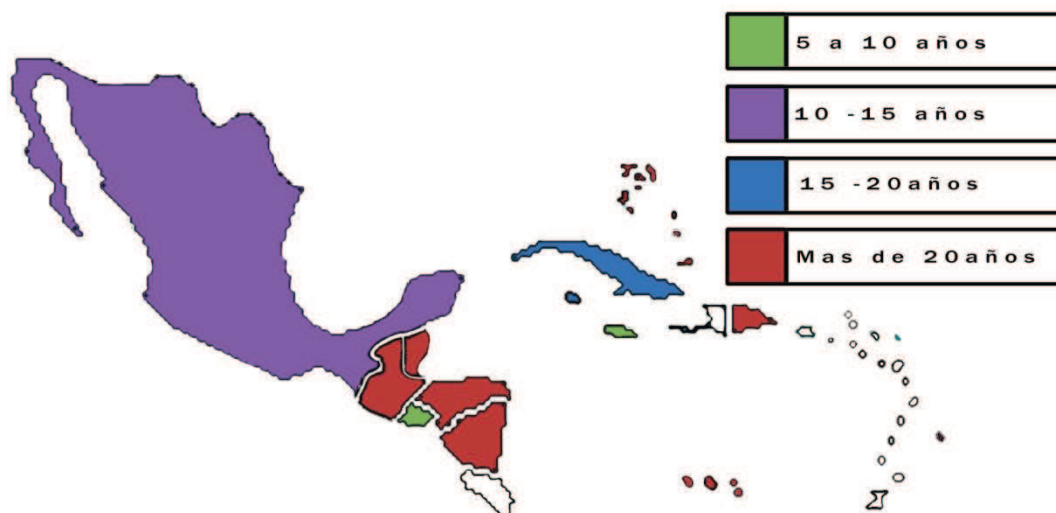


**Figura 11.** Cantidad de aeronaves por fabricante en la región

Se presenta a continuación un gráfico de la distribución por fabricante de las aeronaves operativas a la hora de realizar el presente análisis:



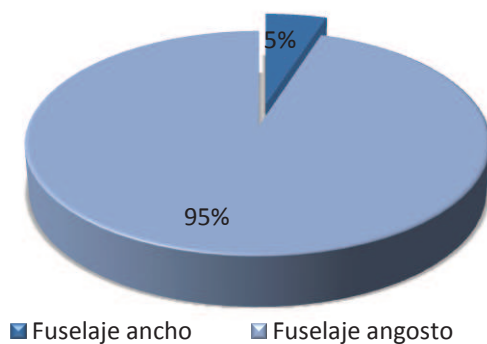
Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.



**Figura 12.** Edad promedio de la flota de la región CAR , Escenario 2012

Se puede observar la inclinación de las compañías a la hora de elegir su material de vuelo. Es notable la cercanía entre Boeing y Airbus, ya que la diferencia a nivel mundial es mucho más amplia. Entra en juego de una forma más intensa Embraer, dado que su oferta de aeronaves de pasillo simple es muy amplia y es el segmento de preferencia en CAR.

Dicha preferencia se evidencia al observar como se distribuye el total de aeronaves en éstos dos segmentos: aeronaves de pasillo ancho (Wide Body) y aeronaves de pasillo simple ó angosto (Narrow Body).



**Figura 13.** Distribución de fuselaje ancho/angosto en la región CAR.

Tomassini, Coppa, D’lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

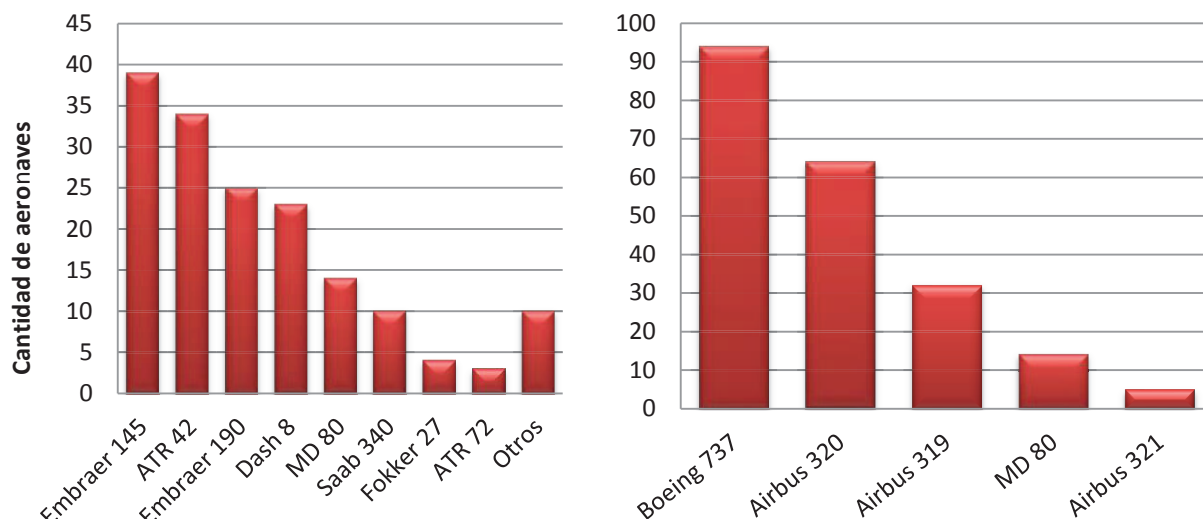


Figura 14. Distribución de aeronaves de fuselaje angosto a) regionales b) de largo alcance

Teniendo en cuenta lo anterior, se centraliza el estudio en las aeronaves fuselaje angosto, mostrando primero aquellas afectadas al mercado de cabotaje, y en segundo lugar las afectadas al mercado regional e internacional.

Siguiendo con la secuencia de análisis, se expondrán representativos de las plantas motrices utilizadas en la región.

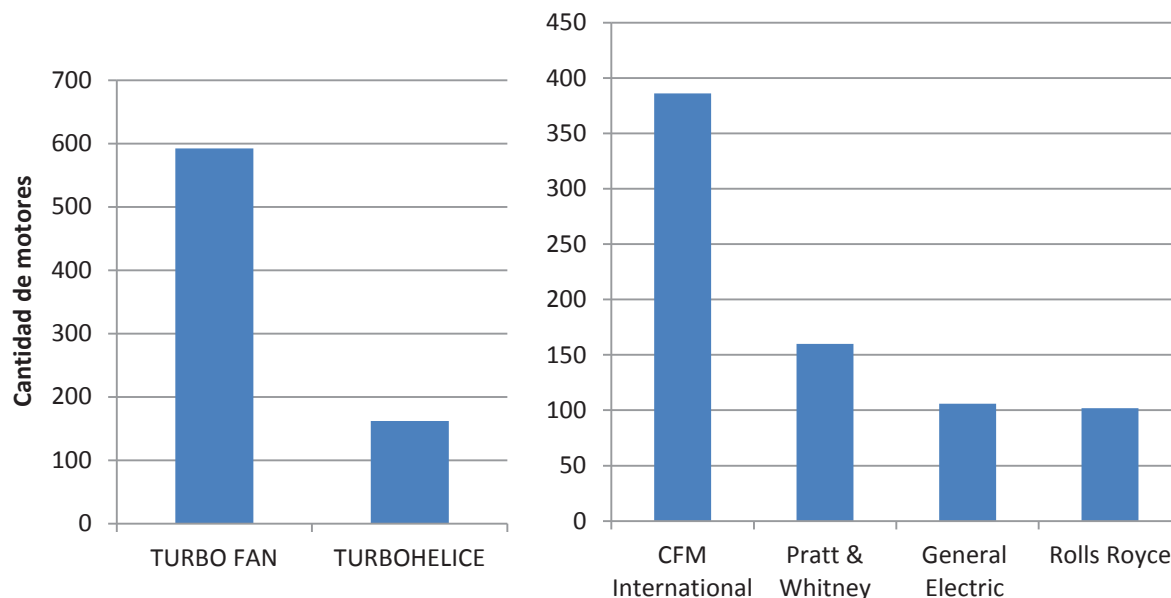


Figura 15. Cantidad de motores vs. Tipo de motor

Utilizando la base de datos de emisiones contaminantes de OACI [5], se analizaron las cantidades de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno aportados por cada ciclo LTO (*Landing–Take-Off*) para todas las aeronaves bajo estudio.

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

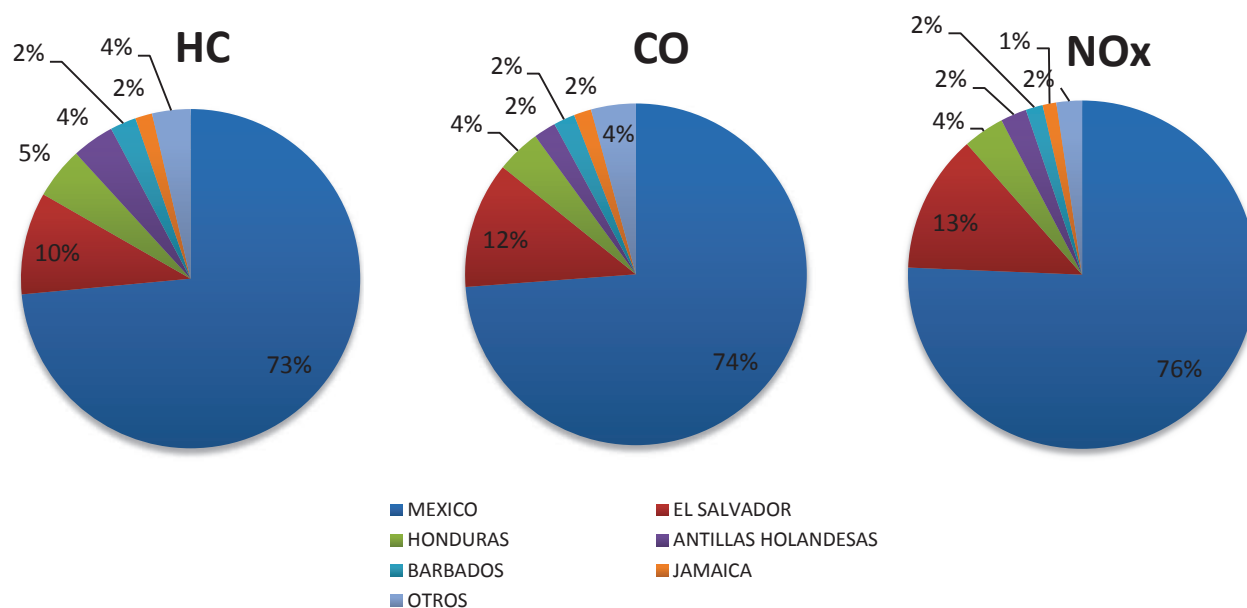


Figura 16. Porcentajes de contaminantes emitidos por país.

Con el fin de obtener gráficos más claros se separa a México del resto de los países de la región, dado que su aporte es significativamente superior al resto y el contraste es elevado. Las emisiones de gases contaminantes para México en un ciclo LTO, según el escenario 2012, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Contaminantes emitidos por México

CONTAMINANTE	[Kg]
HC	248,5
CO	2.243,8
NOx	2.115,6

Para una mejor visualización se especifican a continuación el resto de los países:

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

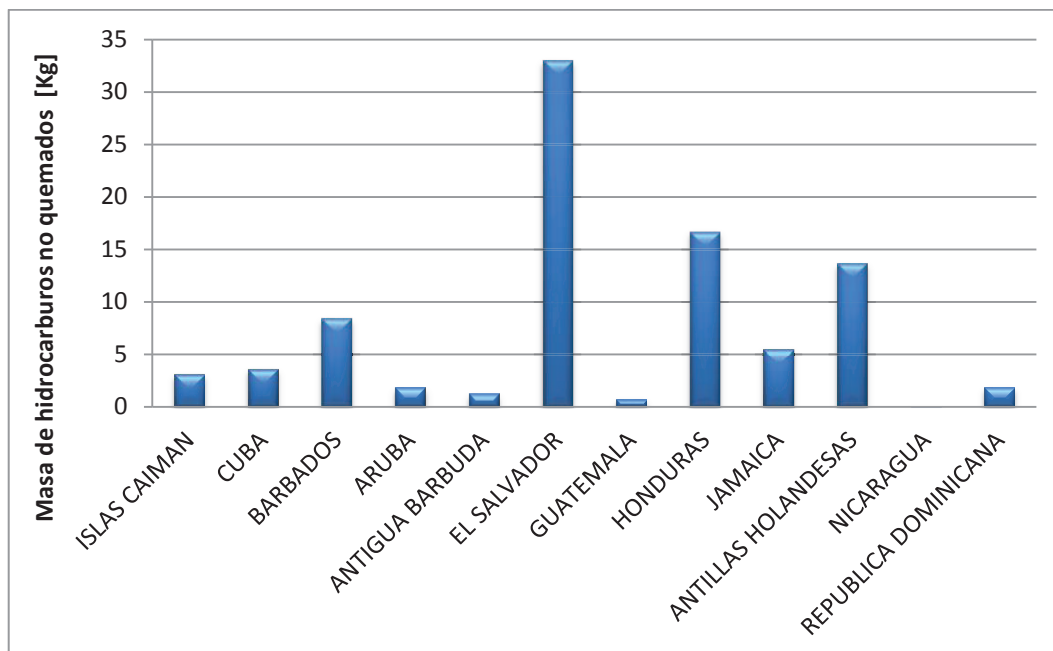


Figura 17. Aporte de HC por los países de la región CAR, por ciclo LTO, escenario 2012.

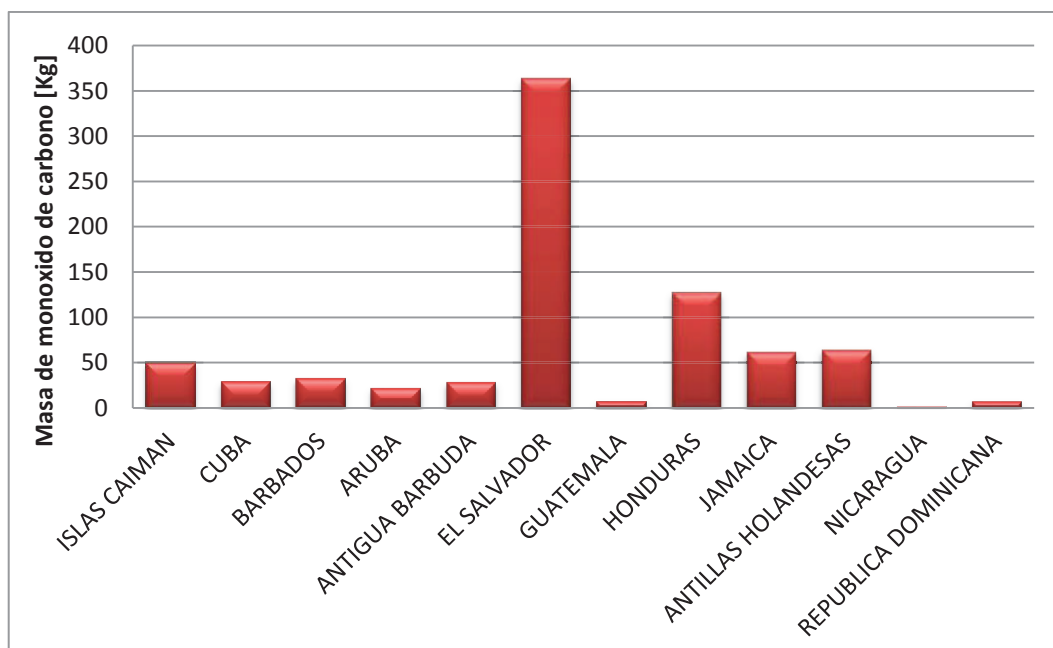


Figura 18. Aporte de CO por los países de la región CAR, por ciclo LTO, escenario 2012.

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

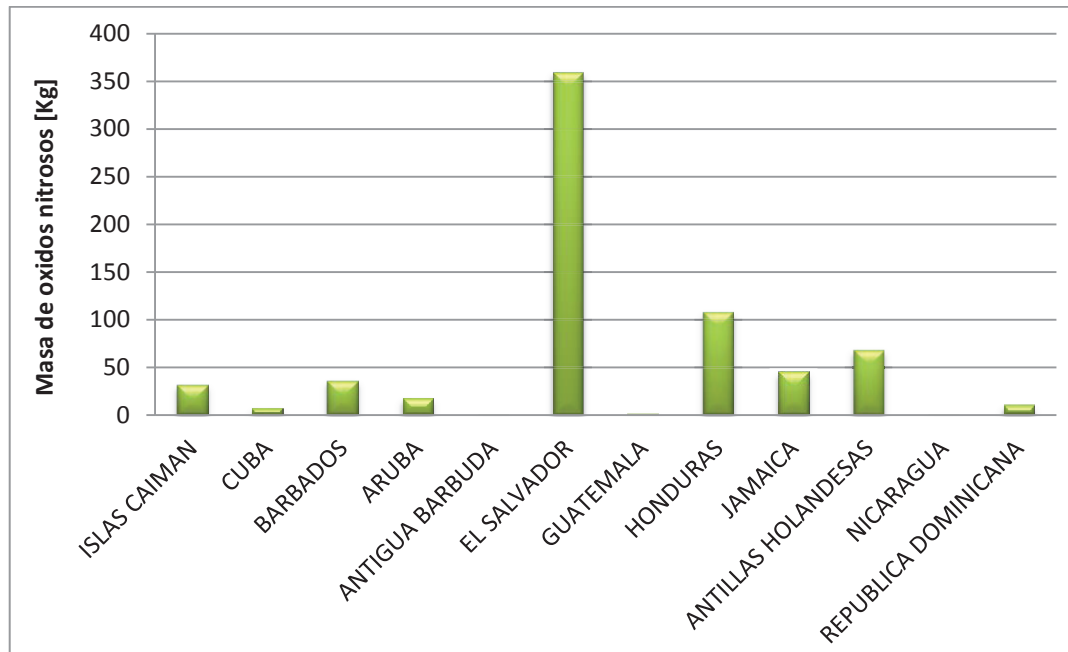


Figura 19. Aporte de  $\text{NO}_x$  por los países de la región CAR, por ciclo LTO, escenario 2012.

## CONCLUSIONES

Las características de la flota de dicha región se encuentra muy influenciada por la flota de México, que cuenta con 17 aerolíneas a razón de 236 aeronaves y una edad promedio de 11,36 años y por la flota de El Salvador la cual solo con la aerolínea TACA posee 44 aeronaves y un promedio de 5,32 años.

Los resultados obtenidos de emisiones gaseosas dependen fuertemente de la cantidad de operaciones, pero se observa a su vez, que el tipo y modelo de aeronave con su planta poder asociada, son parámetros de gran importancia al momento de cuantificar dichos aportes contaminantes.

Es por ello que la superioridad de México, en cuanto al nivel de emisiones contaminantes por ciclo LTO (superior al 70%), se atribuye al ser el país con mayor cantidad de aeronaves operativas, destacando a su vez que la edad promedio de su flota es una de las menores de la región. La situación de emisiones gaseosas en los otros países de la región varía de acuerdo no solo con la cantidad de aeronaves, si no con la edad promedio de la flota.

Con el fin de obtener un valor de aporte en el tiempo, sería importante cotejar los valores obtenidos con los datos de frecuencias de los operadores aéreos; es de esperar que las emisiones en el entorno aeroportuario de los países con mayor cantidad de aeronaves multipliquen el aporte debido a la cantidad de operaciones.

Los valores obtenidos muestran que es necesaria, a nivel global, la implantación de operaciones y procedimientos, tanto en aproximación como en tierra, para la mitigación y reducción de aportes contaminantes.

El sector de transporte aéreo, debido a acuerdos empresariales, políticas de estado y constante renovación de flota, se caracteriza por su fuerte dinamismo, es por ello, que el análisis de situación actual debería ser acompañado de una evolución histórica de las características de la flota y políticas aplicadas por los operadores aéreos, para entender en su conjunto la proyección y la situación de las regiones bajo análisis.

Tomassini, Coppa, D'lorio y Di Bernardi – Análisis del aporte gaseoso contaminante en la región OACI – CAR en ciclos LTO.

**REFERENCIAS:**

- [1] Flight Global, “Special Report: World Airliner Census 2012”, *Airlines Business*, Abril 2012
- [2] Flight Global , “Fairline employment & fleet forecast trends 2013, *Airlines Business*, March 2013
- [3] Flight Global, “Special report: Regionals 2012”, *Airlines Business*, Octubre 2012
- [4] OACI, “Aircraft Engine Emissions Databank”, Marzo 2012
- [5] FOI Aviation Enviroment, “Tablas de emisiones contaminantes por aeronaves”, Diciembre 2001
- [6] “Protección del Medio Ambiente – Volumen I, Ruido de las Aeronaves”, Anexo 16 al Convenio de Aviación Civil Internacional, *Apéndice 4*, OACI, julio 1993.