

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE FLOTAS AEROCOMERCIALES CAR-SAM Y SU APORTE GASEOSO CONTAMINANTE EN CICLOS LTO.

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

<sup>a</sup>Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata

Calle 48 y 116, (1900) La Plata, Argentina

Email: matias.coppa@gmail.com

### RESUMEN

*El objetivo del trabajo es presentar un análisis comparativo de las características generales de las flotas aerocomercial de la regiones SAM y CAR de OACI. Contrastar a su vez, la contribución de cada región de contaminantes gaseosos generados en un ciclo LTO.*

*El documento describe aspectos globales relacionados con la situación de las aerolíneas operativas, a marzo del 2013, en los países integrantes de la región SAM y CAR de OACI.*

*Se detallan las características comparativas de las flotas de aeronaves, a nivel regional, estudiando el tipo de fuselaje, el alcance, el peso relativo de cada fabricante y el modelo de aeronave y planta poder asociada.*

*Caracterizando la planta poder de las aeronaves se compara el aporte de contaminantes gaseosos para un ciclo Landing-Take Off (LTO) en ambas regiones.*

*The objective of this paper is to present a comparative analysis of the general characteristics of commercial air fleets of SAM and CAR ICAO regions, and compare their emissions contribution in a LTO cycle.*

*Global issues related to the situation of the operating airlines (March, 2013) in quoted regions are described. Characteristics of the aircraft fleet, such as type of fuselage, range, manufacturers, power plants and models are described.*

*According to aircraft power plant gaseous emissions of a Take Off Landing (LTO) cycle in both regions a comparison is made.*

**Palabras clave:** CAR-SAM, 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.

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

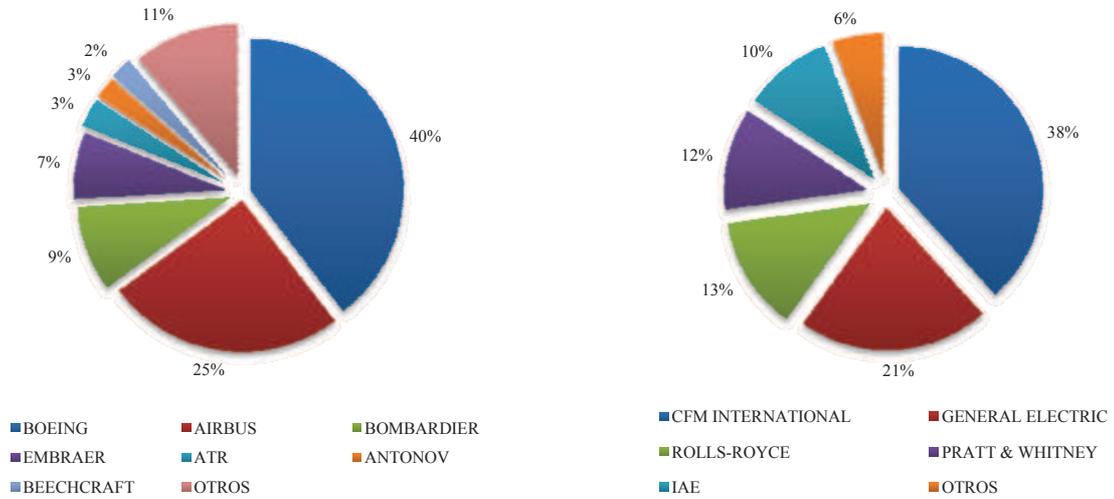


Figura 1 Distribución mundial de aeronaves y motores según de fabricantes, Escenario 2012 [1]

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

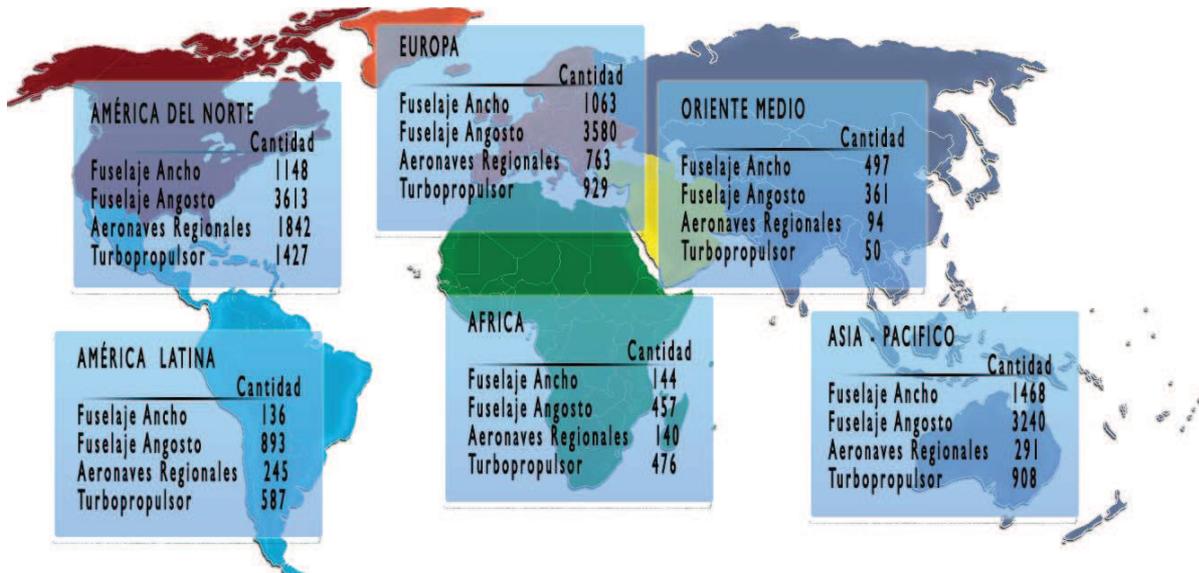


Figura 2. Distribución de aeronaves en las distintas regiones del mundo.

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

En cuanto a la distribución del tráfico de pasajeros a nivel mundial, sobre la base de datos de las 200 aerolíneas que han registrado mayor cantidad de movimientos en el 2012, se muestra la distribución por regiones:

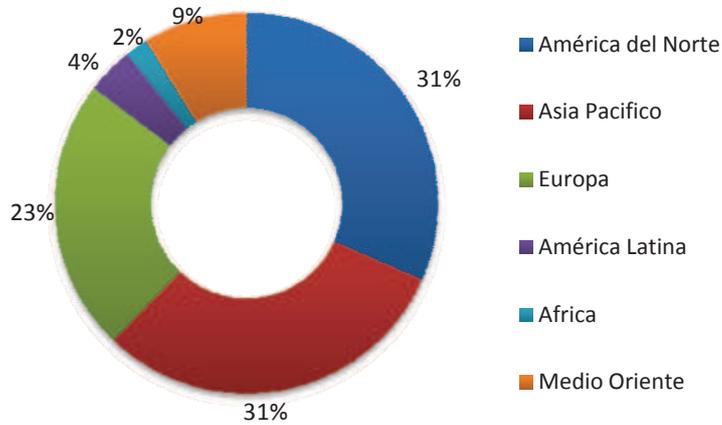


Figura 3. Tráfico de pasajeros en el mundo [2]

Asociado al tráfico de pasajeros, se presenta a continuación el factor de ocupación discriminado por regiones:

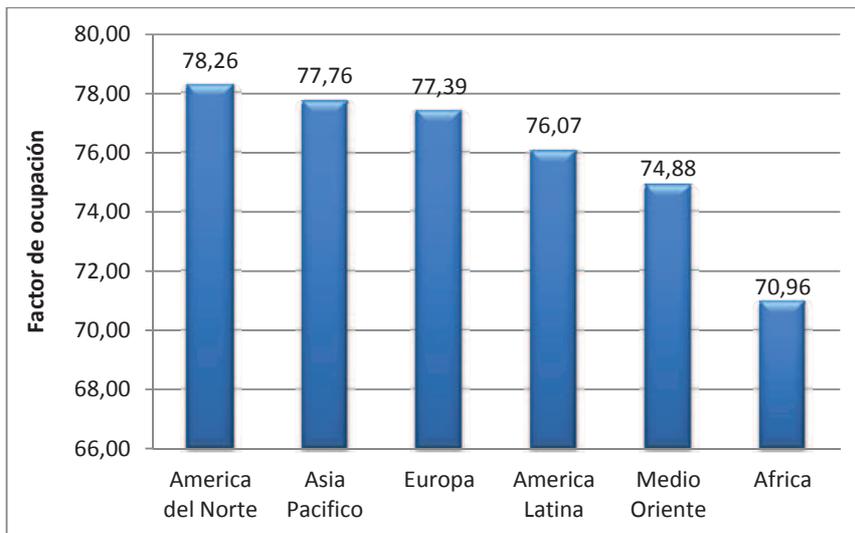


Figura 4. Factor de ocupación por regiones

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

El marco geográfico del presente trabajo es la región CAR SAM de OACI, la cual está compuesta por 48, de los cuales se muestra a continuación los países analizados:



**Figura 5.** Mapa región OACI - CAR SAM.

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. [4]

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.

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

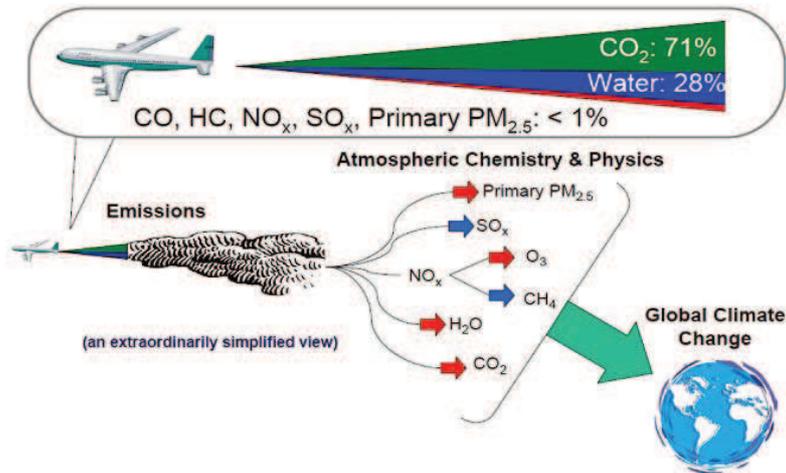


Figura 6. Emisiones contaminantes debido al quemado de combustible aeronáutico.

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 [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.

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).

Coppa, Tomassini, D'lorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

- *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.

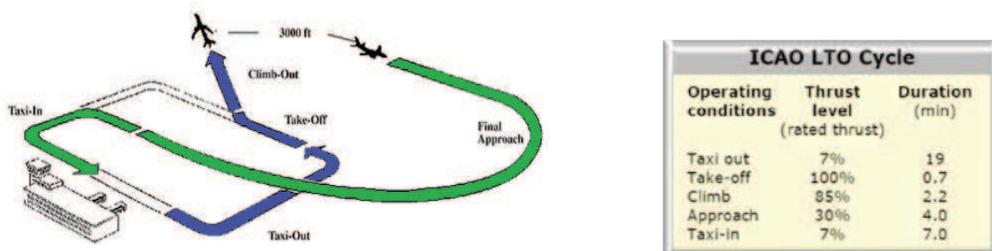


Figura 8. Representación del ciclo Landing – Take-Off

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 [6]

Los contaminantes por motor son los aportados en un ciclo LTO con combustible aeronáutico con las siguientes especificaciones [7]:

Tabla 1 . Propiedades del combustible aeronáutico estudiado

Propiedad	Gama permisible de valores
Densidad, kg/m3 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, mm2/s	2,5 – 6,5

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

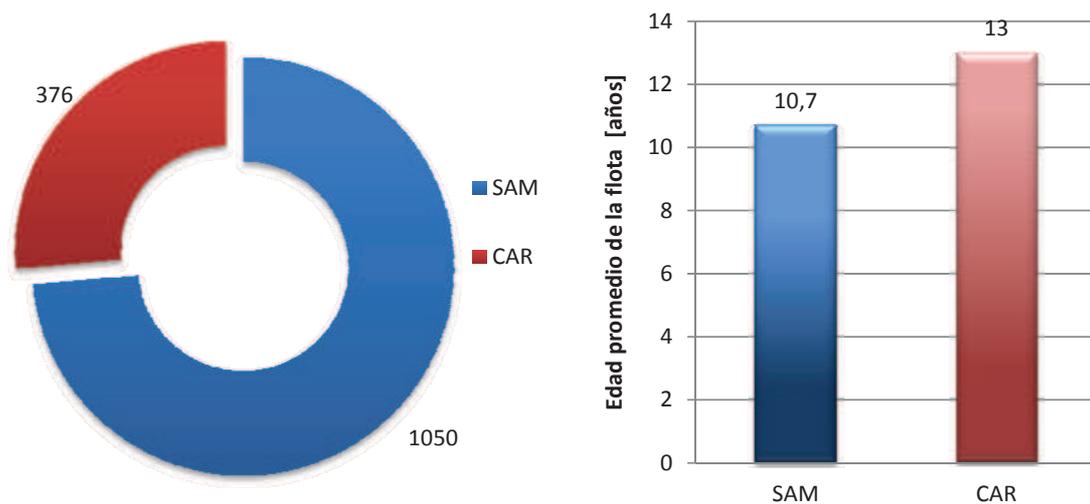
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

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 CAR SAM**

	Región SAM	Región CAR
Cantidad de países por Region	15	33
Cantidad de aerolíneas	76	43
Cantidad de aeronaves	1.050	376
Edad Promedio de la flota	10,76 años	13 años
Cantidad de Aeropuertos de operación	642	352

Se muestra a continuación unos gráficos comparativos de la situación actual de las regiones:



**Figura 9.** Características principales de la flota de las regiones CAR-SAM, escenario 2012

Respecto a la cantidad de aeronaves por fabricante se observa que Boeing posee un mayor peso relativo en la región SAM, a diferencia de CAR, donde Airbus y Boeing son los fabricantes de mayor predominancia en la región.

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

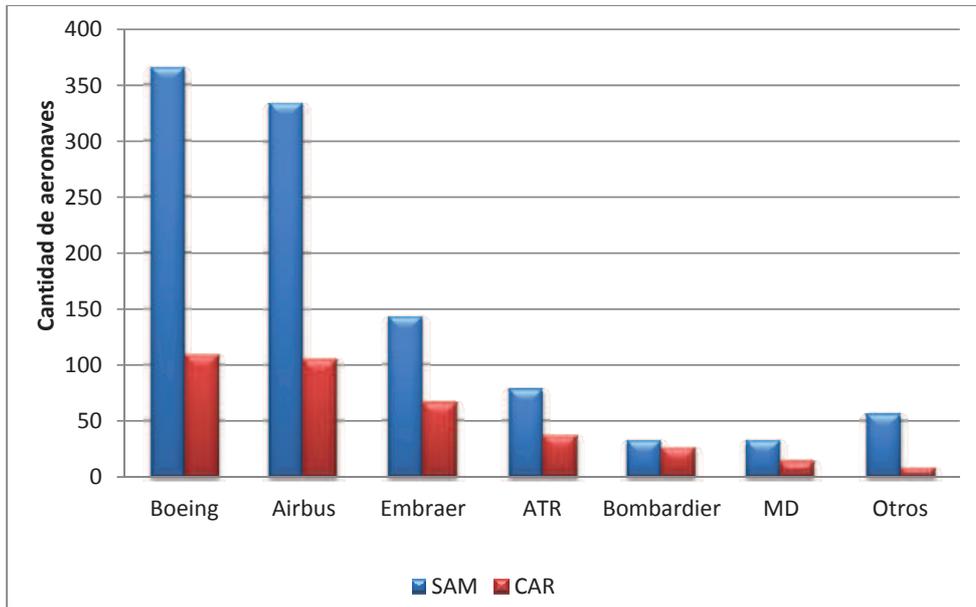


Figura 10. Cantidad de aeronaves de acuerdo a los fabricantes según región OACI, escenario 2012

Respecto a la edad de la flota discriminado por país, se presenta el siguiente gráfico:



Figura 11. Edad promedio de la flota de la región CAR SAM, Escenario 2012

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

Es importante destacar que la relación de aeronaves de fuselaje angosto sobre aeronaves de fuselaje ancho, en el caso de la región CAR, es casi 3 veces mayor la relación en la región SAM.

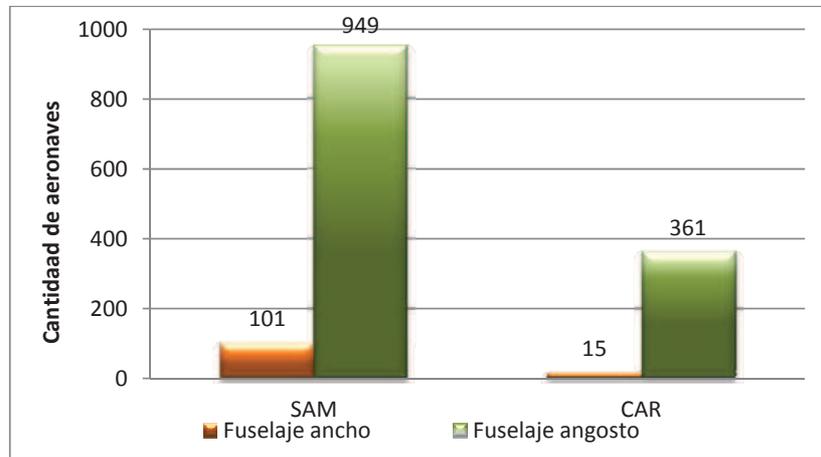


Figura 12. Cantidad de aeronaves de acuerdo al tipo de fuselaje según región OACI, escenario 2012

Del análisis de aeronaves de fuselaje angosto, podemos clasificar dichas aeronaves como regionales o de largo alcance:

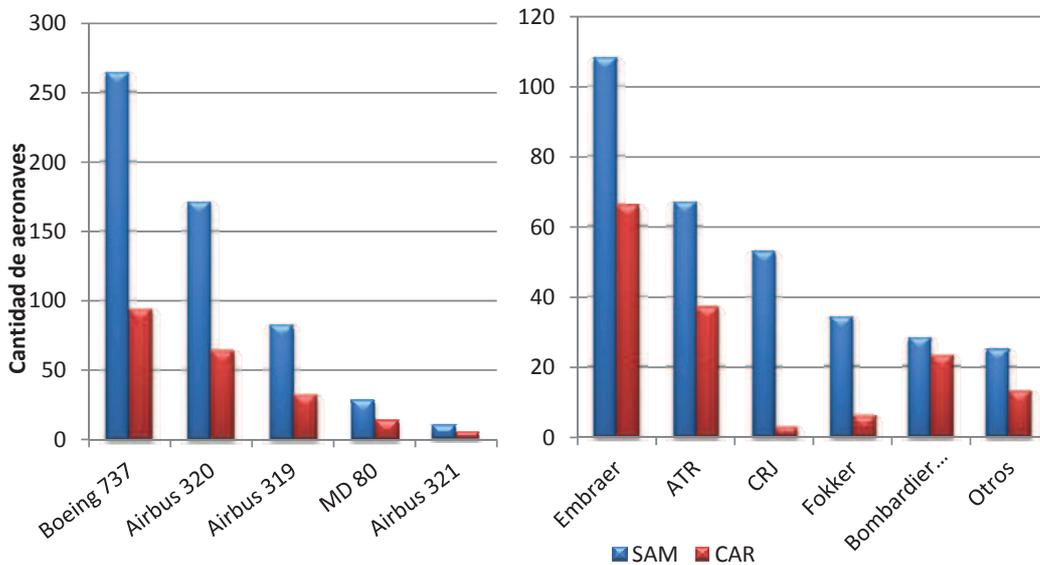


Figura 13. Distribución de aeronaves de fuselaje angosto a) de largo alcance b) regionales.

En el siguiente mapa se muestra la distribución de plantas poder en la región respecto al fabricante:

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

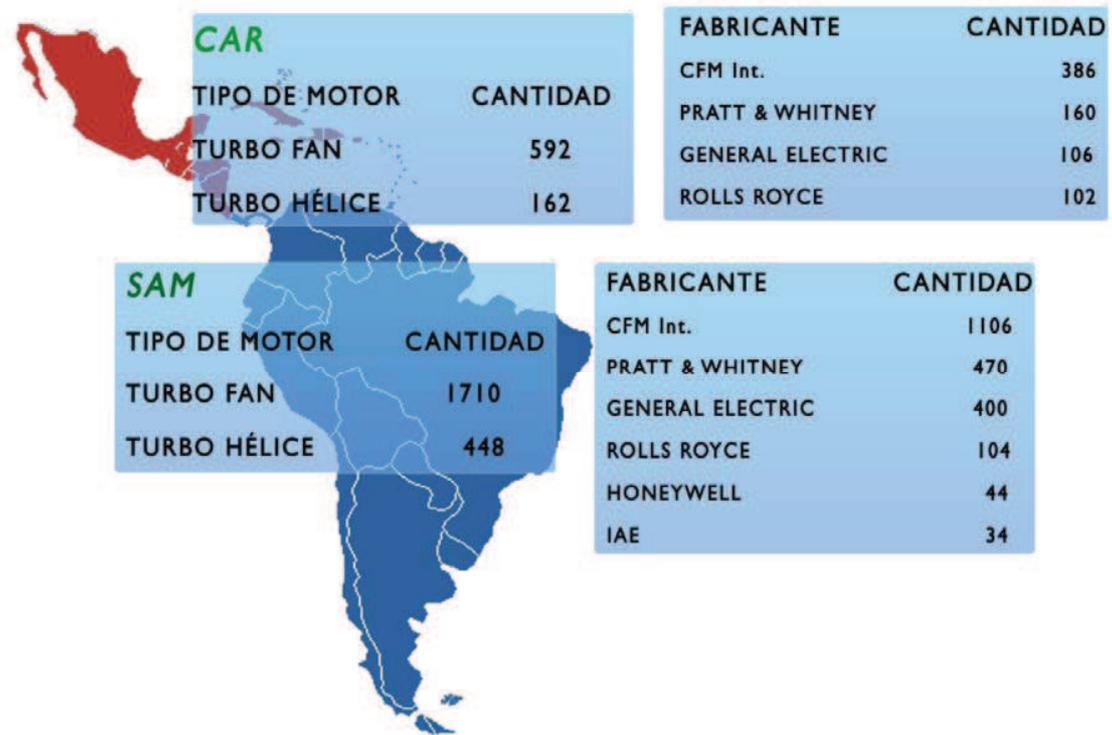


Figura 14. Distribución de motores y fabricante en las regiones OACI - CAR SAM

Asociado dichas plantas poder se compara a continuación las emisiones gaseosas generadas en un ciclo LTO por las regiones analizadas:

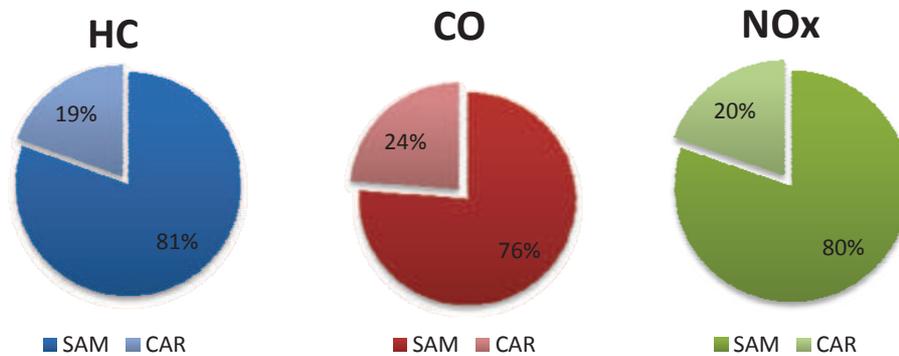


Figura 15. Porcentaje de emisiones gaseosas por ciclo LTO, escenario 2012

En la siguiente figura se cuantifican dichas emisiones, observando claramente la diferencia relativa entre ambas regiones.

Coppa, Tomassini, D'lorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO.

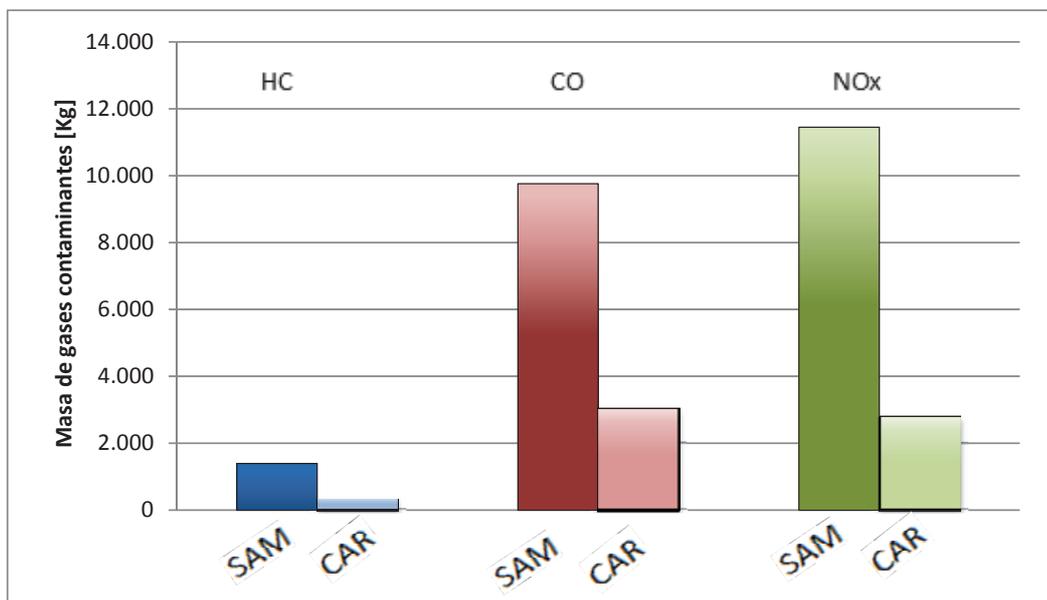


Figura 16. Cuantificación del aporte contaminante de los gases estudiados en las regiones CAR SAM

## CONCLUSIONES

De las 119 aerolíneas comerciales operativas al momento del presente estudio, se observa que el 30% corresponden a los dos países con mayor participación aeronáutica comercial en la región (México, 17 aerolíneas % y Brasil cantidad de aerolíneas (19)%) pero a su vez es importante destacar a Venezuela con un total de 14 aerolíneas y un 12% del total de la región CAR SAM.

Respecto a las características de la flota de las regiones analizadas, se observa que Brasil posee una de las flotas más jóvenes de la región (8.66 años) y a su vez es el país con mayor cantidad de aeronaves (464 aeronaves), por otro lado cabe destacar el peso relativo de México y Colombia con el 17 % y el 8 %, respectivamente, de la cantidad de aeronaves total operativas en la región.

Con el fin de obtener un valor de aportes en el tiempo, es sumamente necesario 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.

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.

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 un parámetro de gran importancia al momento de cuantificar dichos aportes contaminantes.

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

Coppa, Tomassini, D'Iorio y Di Bernardi - Análisis comparativo de flotas aerocomerciales CAR-SAM y su aporte gaseoso contaminante 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*, Marzo 2013.
- [3] Flight Global, "Special report: Regionals 2012", *Airlines Business*, Octubre 2012.
- [4] OACI, "Aircraft Engine Emissions Databank", Marzo 2012.
- [5] FOI Aviation Environment, "Tablas de emisiones contaminantes por aeronaves", Diciembre 2001.
- [6] OACI, "Anexo 16", Apéndice 4, Julio 1993.
- [7] Coppa Matias, D'Iorio Juan Ignacio, Di Bernardi Alejandro, Pesarini Alejandro, Di Gregorio Pablo, "Análisis de la flota aerocomercial en América del Sur y su aporte gaseoso contaminante en ciclos LTO", Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.