



Análisis histórico de los principales contaminantes emitidos por motores de aeronaves civiles

Juan Ignacio D Iorio - juanignacio.diorio@ing.unlp.edu.ar

Grupo Transporte Aéreo - UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Alejandro Di Bernardi - cadibern@ing.unlp.edu.ar

Grupo Transporte Aéreo - UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Abstract

Estudiar la evolución histórica de los contaminantes emitidos (cantidades) por los motores a reacción de las aeronaves civiles.

Este es un análisis estadístico realizado a través de la base de datos proporcionada por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), que se completa con los datos obtenidos durante la certificación de los motores. También se utilizarán algunos datos de publicaciones propias de este GTA, y algunos de bibliografía para obtener indicadores con el fin de interpretar los datos de evolución histórica.

Es evidente que las cantidades de los contaminantes más importantes derivados de la combustión han ido disminuyendo a través de los años. Más allá de esto, es interesante analizar las cantidades y características de los motores en relación a ciertas características.

Lo más importante de esta publicación es relacionar algunas características de los motores para poder asociarlas a los cambios en los niveles de contaminantes, es decir, a construir ciertos indicadores para distinguir las medidas que más contribuyeron a disminuir los productos de la combustión nocivos, y poder proponer nuevas.

Keywords

motores; contaminación; emisiones; aeronaves



Análisis histórico de los principales contaminantes emitidos por motores de aeronaves civiles.

D.Social and Environmental Strategies

Introducción

Este trabajo está fundamentalmente basado en los datos proporcionados por OACI en la certificación de los motores aeronáuticos, condensados en una base de datos de uso público [1], en función de los requisitos establecidos en el Anexo 16 al convenio de Aviación Civil Internacional [2]. Para contextualizar los datos y conclusiones obtenidas, en primera medida se analiza información sobre flotas operativas, potencias involucradas y crecimiento de las operaciones a nivel mundial. En función de estos indicadores se evalúan los resultados y se concluye con respecto a ello.

Desarrollo

Como se citó anteriormente, resulta necesario establecer ciertas condiciones de contorno para realizar una correcta apreciación de los resultados obtenidos. Para ello se analiza primeramente el crecimiento del tráfico aéreo a través de los años. Con datos del Banco Mundial [3], incluyendo entradas de la OACI y entidades de aviación civil, se obtienen los valores totales de despegues de aeronaves (ciclos) a nivel mundial para el período 1970-2017.

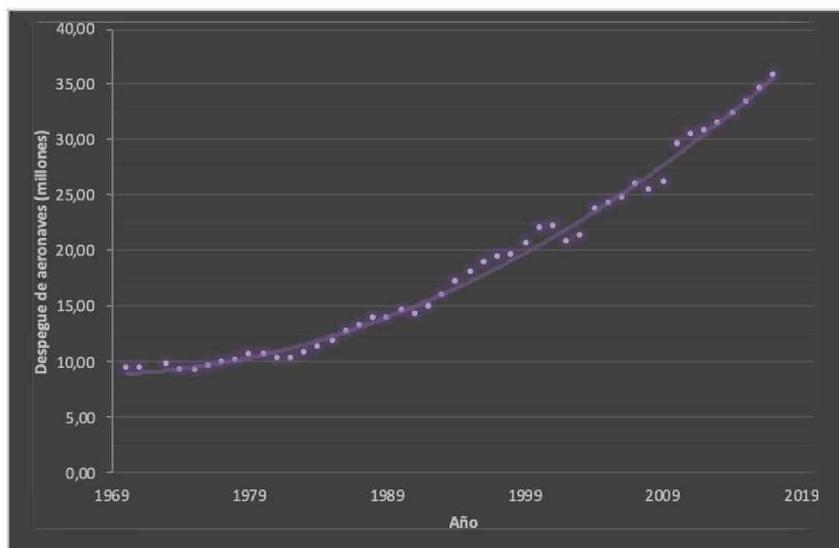


Figura 1 - Despegues de aeronaves a nivel mundial.

Puede observarse un incremento constante a través de los años, sobrepasando los 35 millones de despegues para el año 2017 (último con información disponible). Con este gráfico puede entenderse los esfuerzos que realiza tanto OACI como las Autoridades de Aviación Civil de los distintos Estados para disminuir las emisiones contaminantes derivadas de la operación aérea. Una vez establecida esta situación, es útil analizar las proporciones de los tipos de aeronaves que son y fueron utilizadas por los operadores civiles, es decir, fuselaje angosto y ancho, para tener una idea de la cantidad de motores, y por lo tanto, de emisiones. De acuerdo a los datos proporcionados por el *Airline Data Project* del MIT [4], se obtiene el siguiente gráfico:

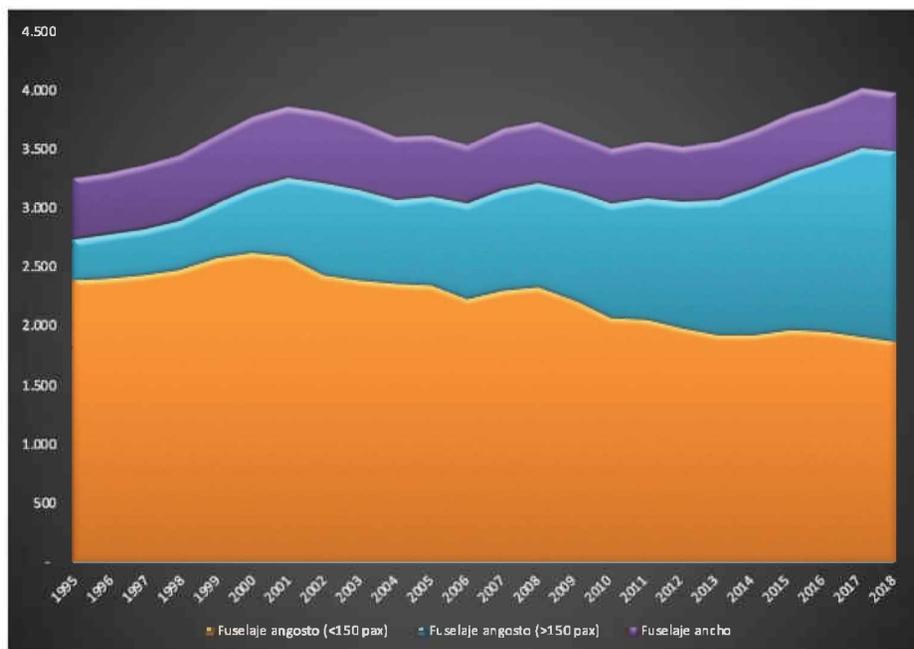


Figura 2 - Flotas en función de los tipos de fuselaje.

Más allá de las restricciones que presenta esta información, siendo las dos más importantes el período analizado (sólo a partir de 1995) y que únicamente se tienen en cuenta operadores de Estados Unidos, es útil para obtener algunas conclusiones respecto a las tendencias actuales a nivel global. Puede observarse una menor utilización de las aeronaves de fuselaje angosto con capacidad para 150 pasajeros o menos, y un aumento en la categoría siguiente; aquellas que poseen capacidad para 150 o más pasajeros y de un solo pasillo, debido a la versatilidad que ofrecen a los operadores, están reemplazando a las aeronaves más pequeñas. El porcentaje de uso de las aeronaves de fuselaje ancho se ha mantenido relativamente constante, aunque su utilización comienza a decrecer por lo citado anteriormente, esto es, que las aeronaves de un solo pasillo ofrecen mayor rango operativo, con lo cual los operadores pueden cubrir rutas que antes sólo podían con aeronaves de doble pasillo, y con un factor de ocupación más alto. Otro hecho relevante, que no se desprende del gráfico anterior, si no de información propia de este GTA, hecha con el análisis de los fabricantes y las aeronaves de fuselaje ancho, es que con el correr de los años las aeronaves de fuselaje ancho tienden a utilizar solamente 2 motores.

Tabla 1-Aeronaves de fuselaje ancho
Fuente: GTA y fabricantes.

Aeronave	Comienzo de producción	Fin de producción	Nº motores	Aeronave	Comienzo de producción	Fin de producción	Nº motores
B-747	1968	-	4	A-340	1993	2011	4
DC-10	1971	1989	3	B-777	1993		2
L-1011	1972	1985	3	A-330	1994		2
A-300	1974	2007	2	A-380	2005		4
IL-86	1980	1994	4	B-787	2007		2
B-767	1981	-	2	A-350	2010		2
A-310	1983	1998	2	B-777X	2019		2
MD-11	1990	2001	3	CRJ929	2023		2
IL-96	1992	-	4				

De este listado, y teniendo en cuenta las aeronaves actualmente en producción (no en servicio), se deriva en el siguiente gráfico que demuestra lo anterior. No se incluyó el B-777X ya que se encuentra en fase de certificación, y se estima el comienzo de la producción para octubre-noviembre de este año.



Figura 3 - Aeronaves en producción.

Las dos próximas aeronaves en entrar en servicio también contarán con 2 motores instalados.

Hecho este pequeño análisis del panorama de la flota mundial, los tipos de aeronaves, y las cantidades de operaciones, se prosigue con el histórico obtenido de la base de datos de emisiones [1]. Resulta necesario aclarar que el método utilizado para la certificación ([2] [5]) requiere la medición de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), humos, consumo de combustible, entre otros, en el denominado ciclo LTO (*Landing Take-off Cycle*), que implica 4 configuraciones de potencia durante cierto tiempo, a saber (obtenidos de [2]): despegue a 100% de la potencia durante 0,7 minutos; ascenso a 85% de la potencia durante 2,2 minutos; aproximación 30% de la potencia durante 4,0 minutos; y ralentí o taxeo al 7% de la potencia durante 26,0 minutos. Si bien son valores arbitrarios y no representan todos los casos de operaciones, es una buena aproximación para determinar las variables incluidas en [1]. En este caso se presentan dos gráficos obtenidos de [1] para establecer la evolución histórica de variables de peso relativo alto en el desarrollo de los motores, como son la potencia y la relación de *by-pass*.

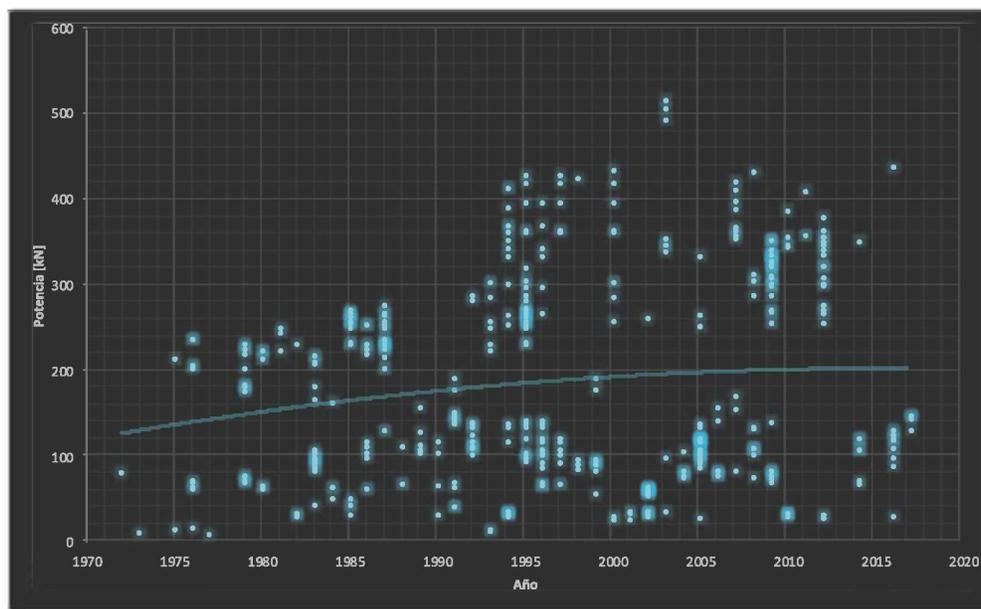


Figura 4 - Evolución de la potencia de los motores [kW].

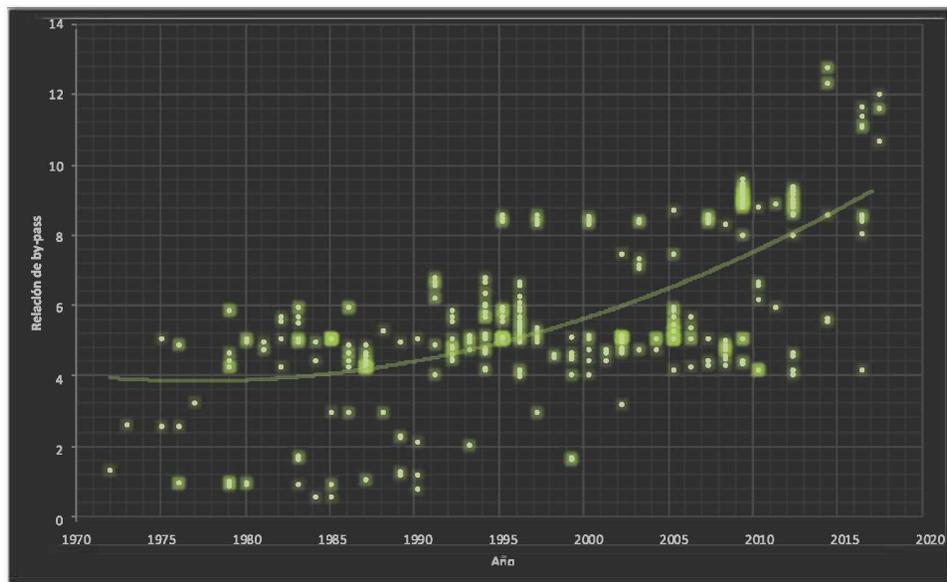


Figura 5 - Evolución de la relación de *by-pass*.

De la figura 4 puede observarse que, si bien las potencias fueron aumentando, se ha alcanzado un cierto balance en los últimos años, lo que demuestra la demanda de motores para los distintos tipos de aeronaves y su participación en el mercado. La figura 5 muestra un crecimiento indudable de la relación de *by-pass*; esto se fundamenta por un lado en el aumento de la potencia a causa de la utilización de relaciones de derivación más altas (el empuje aumenta por la variación de la cantidad de movimiento), así como también las mejoras en la eficiencia que esto produce. La limitación en la utilización de un *fan* más grande es la instalación en aviones más pequeños, ya que no cuentan con la distancia necesaria desde el *pylon* en el ala hasta el suelo. Como corolario de estos gráficos, se incluye uno del consumo de combustible en función del índice de derivación que de alguna manera demuestra la eficiencia anteriormente citada.

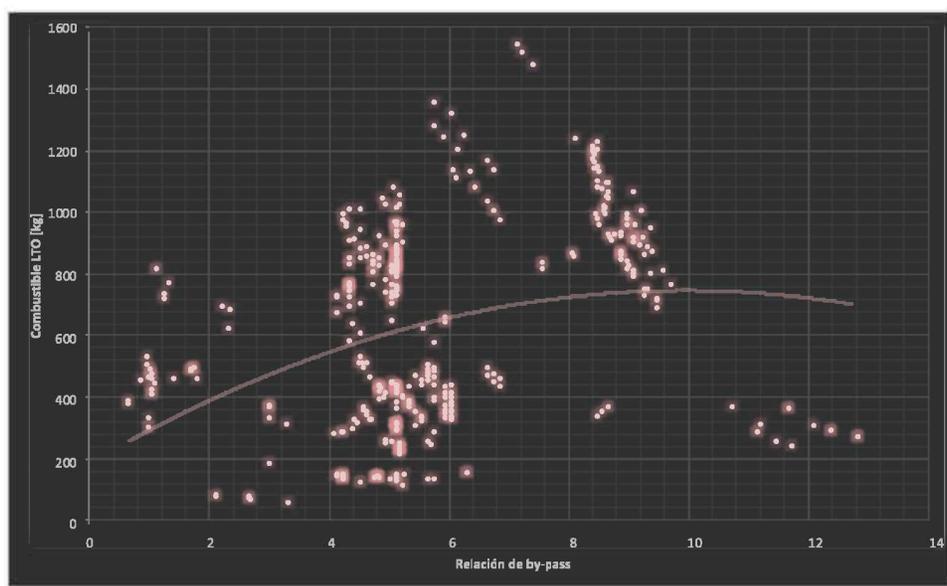


Figura 6 - Consumo de combustible [kg] en función de la relación de *by-pass*.



Luego de esta introducción, se incluyen los gráficos de la evolución de los tres principales contaminantes; HC, CO y NOx emitidos en la totalidad del ciclo LTO en gramos; primero para la totalidad de los datos analizados (505 entradas), y luego haciendo intervalos de potencia arbitrarios con el objeto de visualizar mejor la información.

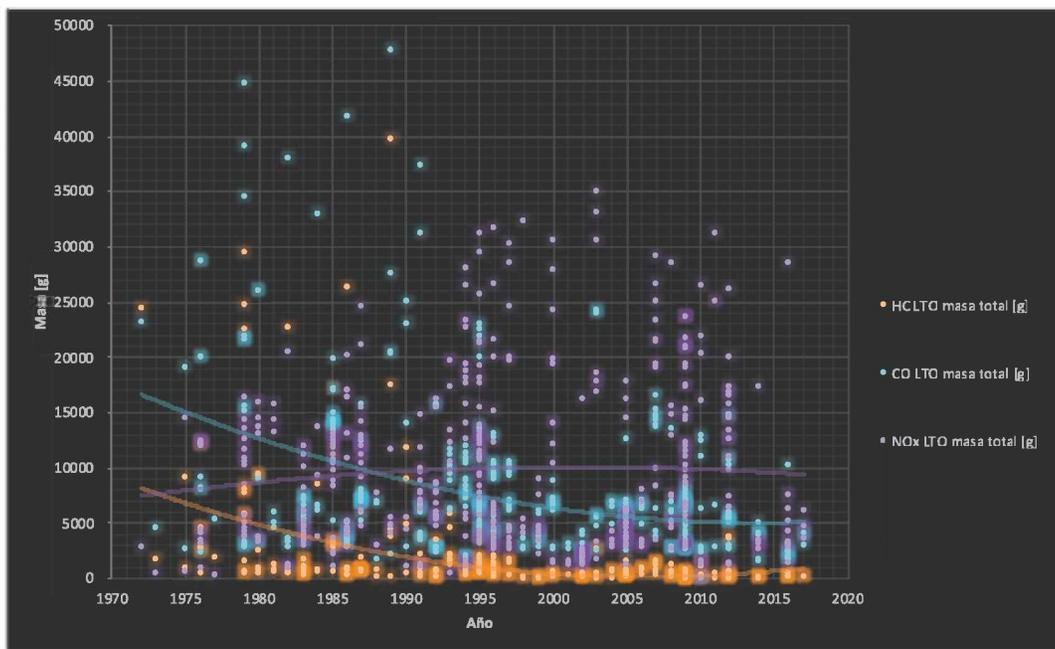


Figura 7 - Evolución de la emisión de contaminantes en el ciclo LTO.

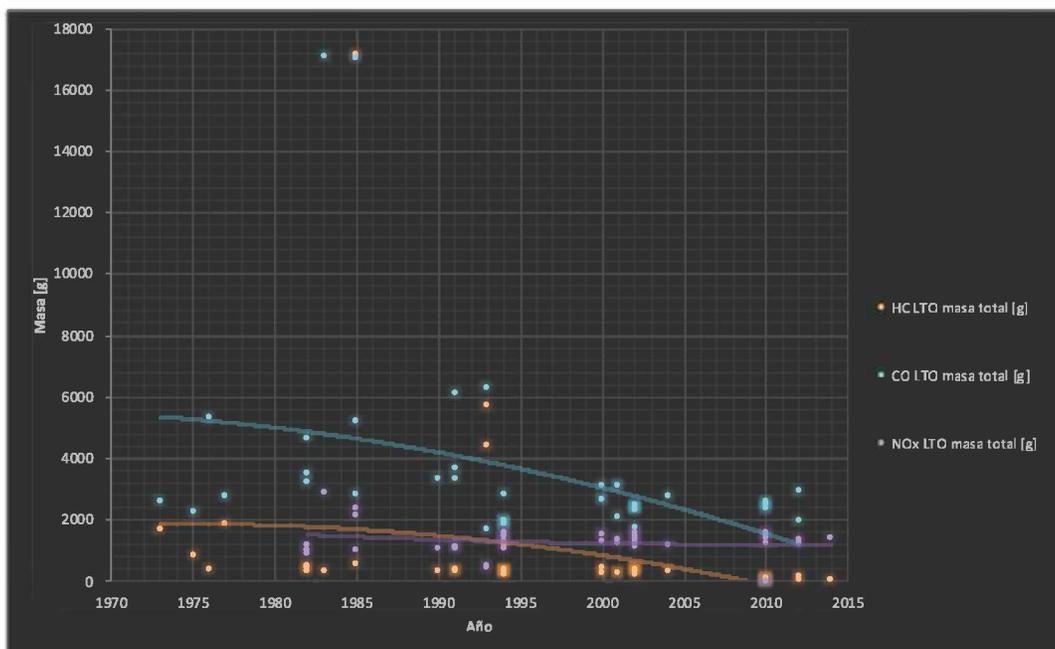


Figura 8 - Evolución de la emisión de contaminantes en el ciclo LTO, potencia de 15,6 a 44,0 kN.

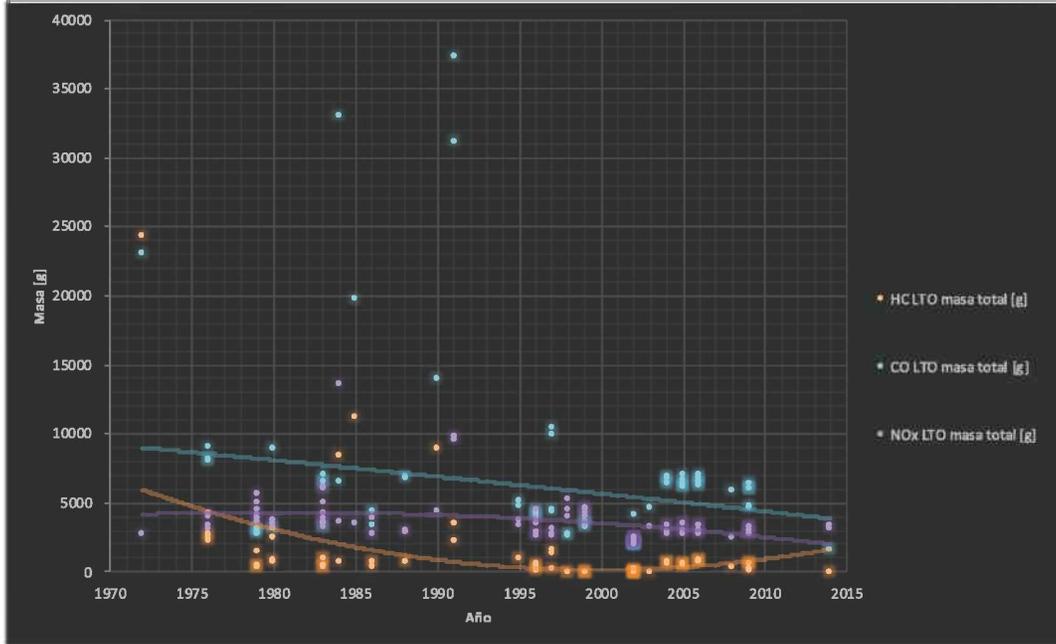


Figura 9 - Evolución de la emisión de contaminantes en el ciclo LTO, potencia de 50,7 a 101,0 kN.

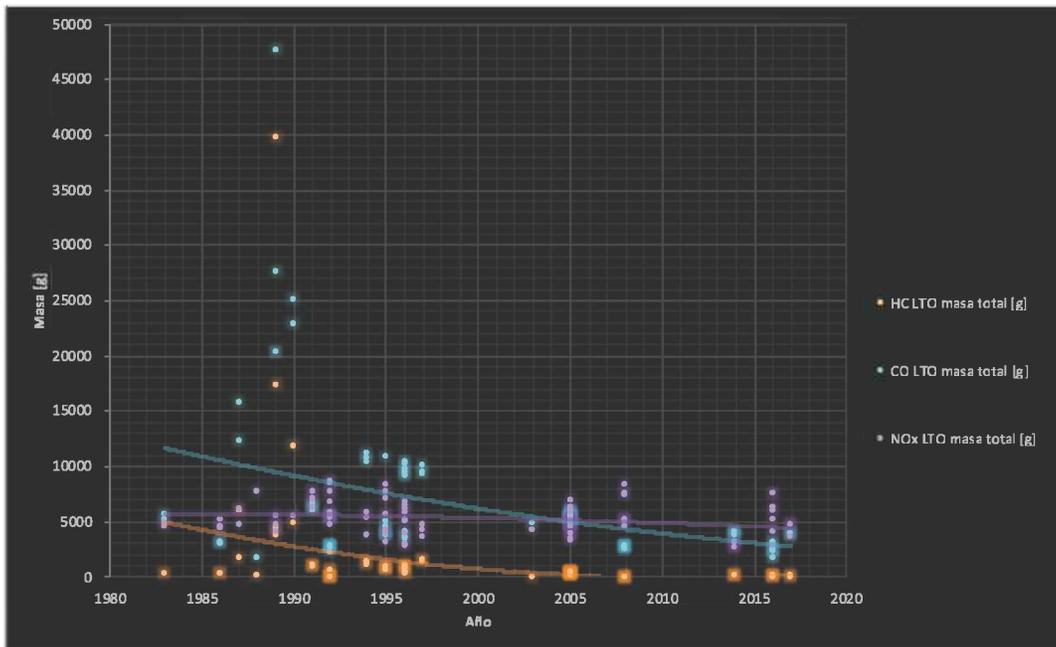


Figura 10 - Evolución de la emisión de contaminantes en el ciclo LTO, potencia de 102,2 a 149,9 kN.

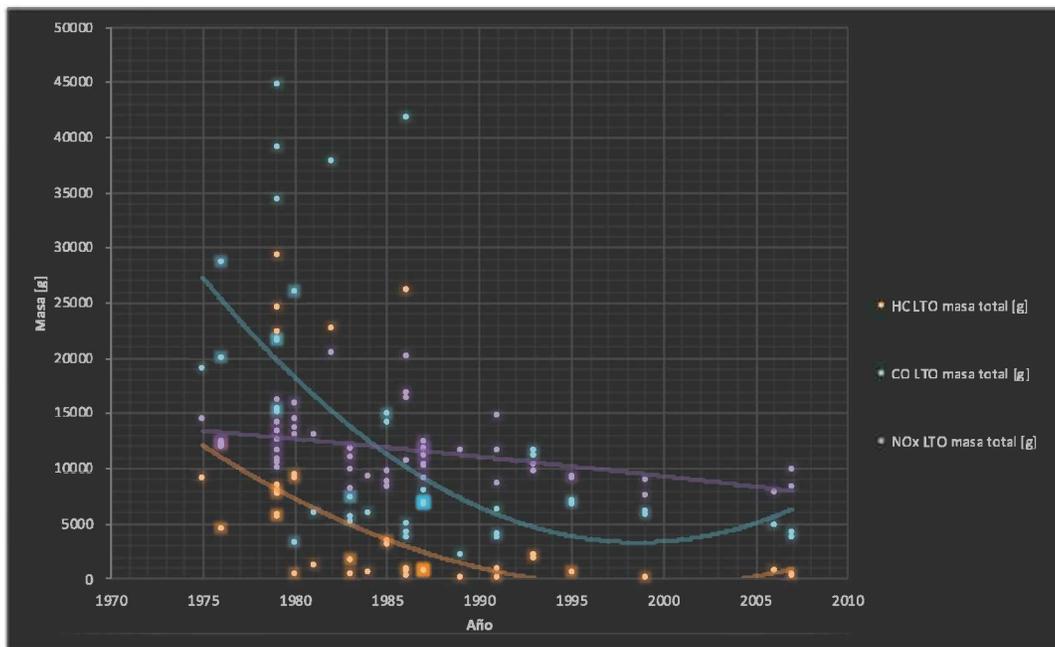


Figura 11 - Evolución de la emisión de contaminantes en el ciclo LTO, potencia de 151,25 a 236,7 kN.

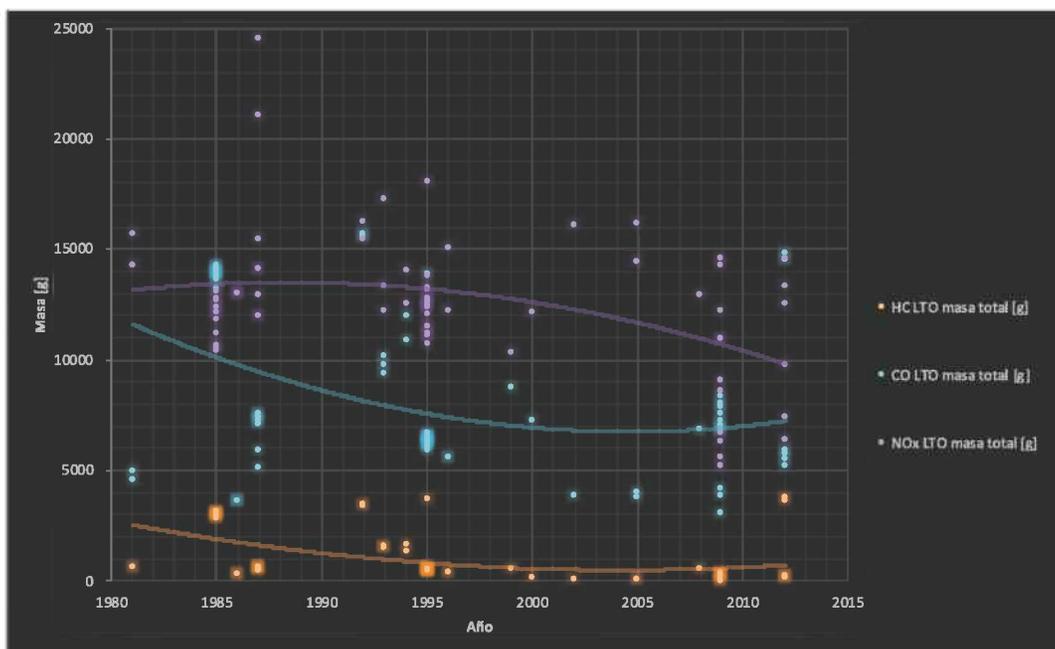


Figura 12 - Evolución de la emisión de contaminantes en el ciclo LTO, potencia de 243,5 a 299,8 kN.

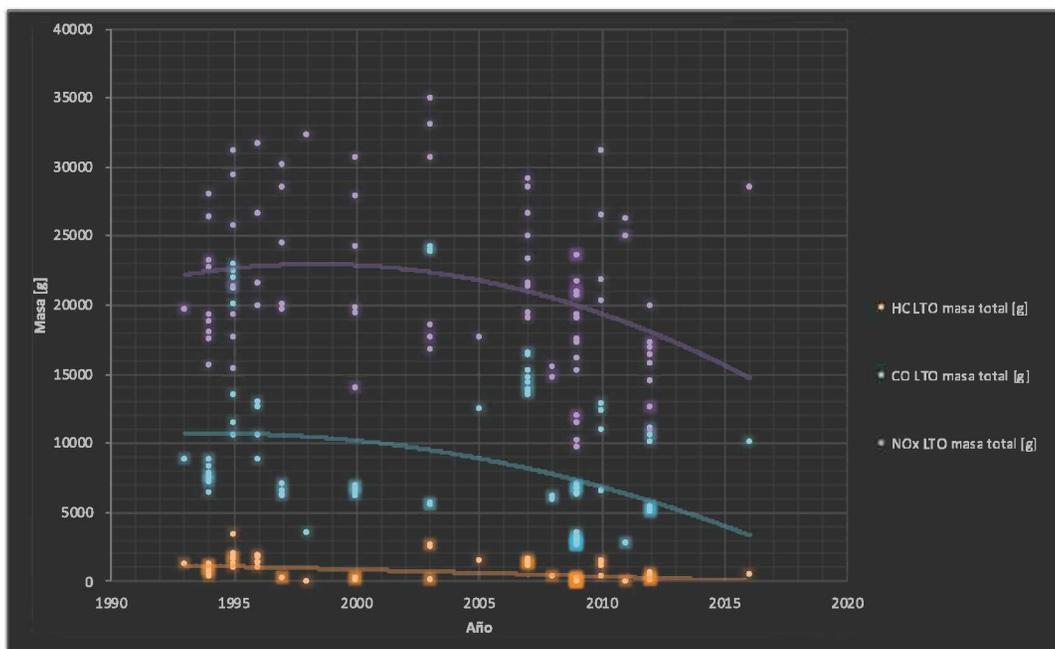


Figura 13 - Evolución de la emisión de contaminantes en el ciclo LTO, potencia de 300,3 a 513,9 kN.

Conclusiones y observaciones

Se pudo analizar la evolución histórica de tres de los componentes contaminantes más importantes presentes en los motores aeronáuticos [6] debido a su toxicidad e interacción con el medio. Se observa claramente como las curvas de HC y NOx son “opuestas” entre sí, es decir, que a medida que aumenta una disminuye la otra, razón por la cual siempre se debe alcanzar una solución de compromiso en función de los objetivos propuestos para el diseño del motor, así como también el cumplimiento de la normativa de referencia [2]. Las curvas de CO presentan un comportamiento similar a las de los HC, y también la normativa [2], [7] y [8] busca su reducción constante.

Si bien la reducción en el HC y CO resulta clara a través de los años, independientemente de las potencias involucradas, se debe continuar con esta tendencia para eventualmente llegar a un valor de emisiones neutro. Resulta claro que estas metas son virtualmente imposibles de alcanzar por el comportamiento antes descrito, y por el propio proceso de combustión. Más allá de las mejoras tecnológicas, de los procesos, materiales, etc., el citado proceso siempre va a dejar como residuos los componentes analizados. Es por ello que se plantean ya desde hace algunos años métodos de compensación [8] para, de alguna manera, mitigar los efectos adversos sobre el medio.

Queda pendiente para futuros trabajos realizar un análisis más profundo de la participación de cada tipo de aeronave en el mercado, la cantidad de operaciones por regiones, y el cálculo de emisiones en el mismo sentido, para ponderar y comparar con los métodos de compensación propuestos por OACI y los Estados.



Referencias

- [1] ICAO Aircraft Engine Emissions Databank (05/2019). <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>.
- [2] ICAO. *Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume II - Aircraft Engine Emissions*. Published by ICAO, Quebec, Canada, fourth edition, July 2017.
- [3] The World Bank Data, Air transport, registered carrier departures worldwide (May 2019). <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.DPRT?end=2017&start=1970&view=chart>.
- [4] Airline Data Project, MIT Global Airline Industry Program (June 2019). <http://web.mit.edu/airlinedata/www/Aircraft&Related.html>.
- [5] ICAO. *Doc 9501 Environmental Technical Manual, Volume II - Procedures for the Emissions Certification of Aircraft Engines*. Published by ICAO, Quebec, Canada, third edition, 2018.
- [6] A.H. Lefebvre & D. Ballal. *Gas Turbine Combustion, Alternative Fuels and Emissions*. CRC press, Taylor & Francis Group, Florida, USA, 2010.
- [7] ICAO. *Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume III - Aeroplane CO₂ Emissions*. Published by ICAO, Quebec, Canada, first edition, July 2017.
- [8] ICAO. *Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume IV - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. Published by ICAO, Quebec, Canada, first edition, October 2018.