

## ESTUDIO DEL APORTE CONTAMINANTE GASEOSO (CO<sub>2</sub>) GENERADO EN RUTA ENTRE AEROPUERTOS ARGENTINOS.

D'lorio Juan Ignacio, Faut Rogelio, Di Bernardi Alejandro<sup>a</sup>

Grupo Transporte Aéreo – UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: [juanignacio.diorio@ing.unlp.edu.ar](mailto:juanignacio.diorio@ing.unlp.edu.ar)

### INTRODUCCIÓN

La cuantificación del aporte contaminante gaseoso generado por la actividad humana es de importancia relevante, ya sea para entender cuáles son los principales generadores, como para realizar esfuerzos tendientes a su reducción. En este contexto, resulta de interés mencionar que la actividad aerocomercial representa entre un 2 y un 3% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) totales, o sea, de todas las actividades que lo generan.

En el presente trabajo se presentan datos de cuantificación de dicho gas, para rutas compartidas por líneas aéreas convencionales y las denominadas “*low cost*”, junto con indicadores para visualizar la inserción de este tipo de modelo de negocio en el mercado aeronáutico local, y su aporte particular a la contaminación gaseosa (CO<sub>2</sub> únicamente). Esta problemática se encuentra dentro del marco establecido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), dentro de su Esquema para la Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA por sus siglas en inglés), en el cual, dependiendo del tipo de operador, y varios factores más, los mismos deberán reducir y/o compensar por sus emisiones.

### PARTE EXPERIMENTAL

Para comenzar con el trabajo, se obtuvieron datos operativos de las rutas operadas por ambos tipos de líneas aéreas, es decir, convencionales y de bajo costo, mediante datos propios del GTA, y las páginas web oficiales de las distintas líneas aéreas y el concesionario Aeropuertos Argentina 2000. En la siguiente tabla se resumen las rutas analizadas, las distancias ortodrómicas (en millas náuticas) calculadas con las coordenadas de cada aeropuerto de referencia, y las aerolíneas involucradas, para el escenario noviembre / diciembre de 2018.

Ruta	Distancia	Operador	Ruta	Distancia	Operador
EPA-ASU	564,964	Flybondi	EPA-JUU	699,888	Flybondi
AEP-ASU	561,002	Aerolíneas Argentinas / Amaszonas PY	AEP-JUU	702,317	Aerolíneas Argentinas / Austral
EZE-ASU	577,379	Aerolíneas Argentinas / Amaszonas PY / Latam	EPA-PDP	174,082	Flybondi
EPA-BCA	300,140	Flybondi	AEP-PDP	164,726	Aerolíneas Argentinas / Amaszonas UY
AEP-BCA	308,135	Aerolíneas Argentinas / Austral	EPA-SLA	685,568	Flybondi
EPA-CNQ	429,989	Flybondi	AEP-SLA	688,461	Latam AR / Aerolíneas Argentinas
AEP-CNQ	427,253	Austral	EZE-SLA	698,280	Aerolíneas Argentinas
EPA-COR	344,313	Flybondi	EPA-BRC	711,112	Flybondi
AEP-COR	350,869	Latam AR / Aerolíneas Argentinas / Austral / Norwegian / Andes	AEP-BRC	720,732	Latam AR / Aerolíneas Argentinas

Ruta	Distancia	Operador	Ruta	Distancia	Operador
EZE-COR	354,499	Austral	EZE-BRC	706,306	Latam AR / Aerolíneas Argentinas
EPA-MDZ	518,996	Flybondi	EPA-SDE	503,956	Flybondi
AEP-MDZ	528,188	Latam AR / Aerolíneas Argentinas / Norwegian	AEP-SDE	507,485	Aerolíneas Argentinas
EZE-MDZ	524,681	Austral	EPA-TUC	573,669	Flybondi
EPA-NQN	527,010	Flybondi	AEP-TUC	577,277	Aerolíneas Argentinas
AEP-NQN	536,890	Latam AR / Aerolíneas Argentinas / Norwegian	EZE-TUC	586,063	Aerolíneas Argentinas
EPA-PSS	453,968	Flybondi	EPA-IGR	573,685	Flybondi
AEP-PSS	448,132	Aerolíneas Argentinas / Austral	AEP-IGR	567,128	Latam AR / Aerolíneas Argentinas / Austral / Norwegian / Andes
COR-IGR	611,981	Flybondi / Austral	COR-MDZ	250,249	Flybondi / Austral

Tabla 1 – Rutas consideradas, distancias (NM) y operadores, nov/dic 2018.

Algunas consideraciones sobre la antecedente tabla: se consideran como rutas “iguales” para el cálculo a aquellas que se inician en alguno de los aeropuertos de Buenos Aires (Aeroparque, Ezeiza y El Palomar) y tienen como destino el mismo aeropuerto; también aplica a la inversa. Esto se debe a que el principal operador de bajo costo, esto es Flybondi, lo hace desde y hacia el aeropuerto de El Palomar. Más allá de esto, se consideran las diferencias (relativamente pequeñas) en las distancias, y por lo tanto, en el combustible consumido.

Una vez obtenidas las rutas, se corrigieron las distancias ortodrómicas (*GCD*) utilizando las consideraciones del calculador de CO<sub>2</sub> de OACI <sup>[1]</sup>, es decir, agregando 50 km si la *GCD* es menor a 550 km, 100 km si es entre 550 y 5500 km, y 150 km si es mayor a esta última. Esta corrección se realiza debido a que no se vuela sobre una *GCD* (si no mediante *way points*), por esperas de tráfico, y cualquier otro imponderable. De esta forma resulta un cálculo conservativo, es decir, algo mayor al real.

Se incluye a continuación una tabla con la flota utilizada por cada línea aérea; de esta forma se pudieron calcular los consumos de combustible en función de la motorización y la distancia *GCD* corregida, por medio de la referencia <sup>[1]</sup> y la base de datos de emisiones de OACI <sup>[2]</sup>.

Línea Aérea	Tipo	Aeronave utilizada
Aerolíneas Argentinas	Convencional	Boeing 737-800
Austral	Convencional	Embraer E-190
Latam AR	Convencional	Airbus A-320
Latam	Convencional	Airbus A-320
Amazonas PY	Convencional	Bombardier CRJ-200ER
Amazonas UY	Convencional	Bombardier CRJ-200ER
Andes	Convencional	Boeing MD-83
Flybondi	<i>Lowcost</i>	Boeing 737-800
Norwegian	<i>Lowcost</i>	Boeing 737-800

Tabla 2 – Líneas aéreas y flotas.

Es interesante advertir que tanto el mayor operador nacional convencional, Aerolíneas Argentinas, como ambas líneas de bajo costo que operan en la actualidad, utilizan exactamente el mismo avión, por lo que al momento del cálculo de CO<sub>2</sub>, para una misma ruta, dará el mismo resultado, ya que no se tienen en cuenta en este modelo los factores de degradación de los motores por el uso y edad. Se presentan a continuación gráficos indicativos de la participación de los tipos de líneas aéreas en el mercado, para las rutas consideradas únicamente.

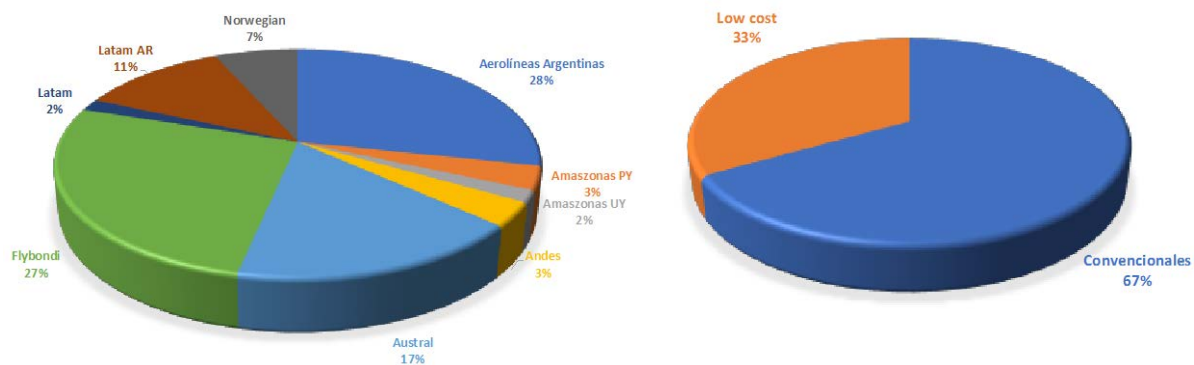


Gráfico 1 – Participación de las líneas aéreas en las rutas consideradas.

Debe destacarse que no se consideraron las frecuencias semanales para obtener estos porcentajes, si no sólo las rutas. De la misma referencia <sup>[1]</sup> se obtuvo el siguiente gráfico de consumo de combustible (kg) por distancia volada (NM).

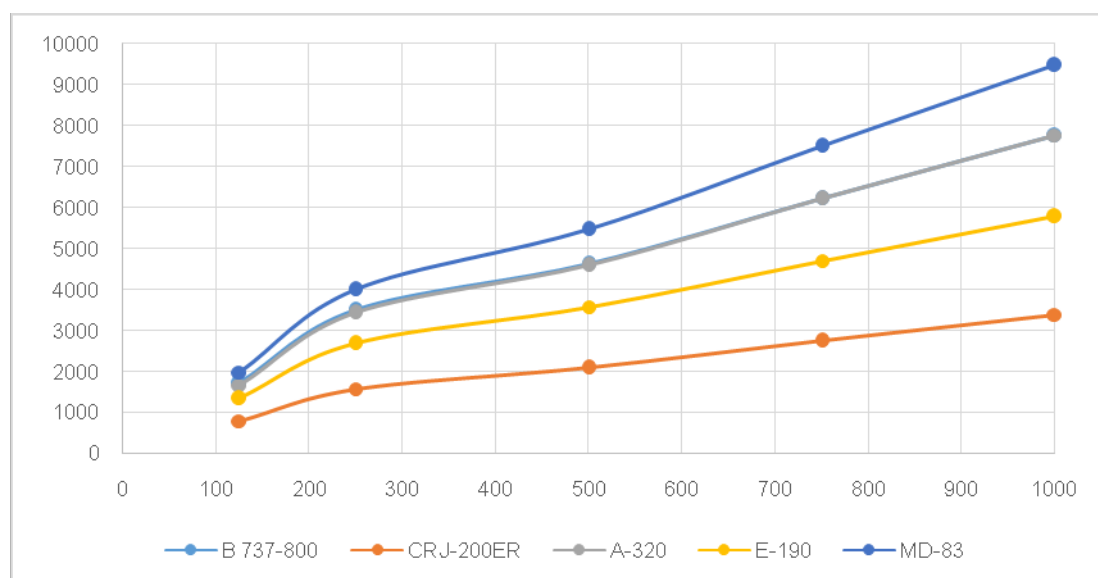
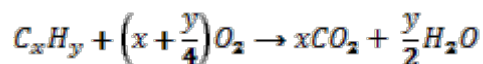


Gráfico 2 – Consumo de combustible por distancia volada para las diferentes aeronaves.

Se hizo una aproximación polinomial de 2º grado para cada curva, con el objetivo de obtener los valores de consumo de combustible en cada ruta (con la GCD corregida) y aeronave analizada. La reacción de combustión genérica puede expresarse de la siguiente manera:



Para el combustible utilizado (Jet A o A1) quemado en aire, el valor aproximado, para una reacción estequiométrica, resulta de 3,16 veces de CO<sub>2</sub> a una de combustible. Con los valores de combustible quemado para cada ruta, y analizando las frecuencias semanales, se obtuvieron los valores de CO<sub>2</sub> emitidos para cada aerolínea. Luego, utilizando hipótesis de crecimiento de los escenarios futuros (a un año calendario), se obtuvieron las frecuencias semanales, con sus respectivos valores de emisiones. Estos supuestos están fundamentados en datos de crecimiento estadístico analizado por este GTA; es así que se adopta un valor del 16% para las aerolíneas convencionales, y un 20% para las *low cost*. El mayor porcentaje de estas últimas surge de las proyecciones propias de los operadores, los

pedidos de aeronaves y las incorporaciones paulatinas que se vienen sucediendo a lo largo de este año, y seguramente seguirán en el próximo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta primeramente una tabla resumen de los valores de emisiones (en toneladas) calculados para cada ruta (ida y vuelta) de forma semanal, discriminando por tipo de línea aérea.

Ruta	Tipo de aerolínea	Cantidad de vuelos	CO <sub>2</sub> actual	Cantidad de vuelos proyectados	CO <sub>2</sub> proyectado
BUE-ASU-BUE	Convencional	70	955,46	80	1.091,96
	Lowcost	8	139,09	10	173,86
BUE-BCA-BUE	Convencional	42	427,87	48	489,00
	Lowcost	6	70,37	8	93,82
BUE-CNQ-BUE	Convencional	14	204,35	16	233,54
	Lowcost	14	158,13	16	180,72
BUE-COR-BUE	Convencional	224	2.722,12	258	3.136,73
	Lowcost	56	716,64	68	870,20
BUE-JUJ-BUE	Convencional	42	707,55	48	808,63
	Lowcost	14	279,71	16	319,66
BUE-MDZ-BUE	Convencional	154	2.401,52	178	2.777,88
	Lowcost	56	929,52	66	1.095,60
BUE-NQN-BUE	Convencional	126	2.119,57	146	2.456,00
	Lowcost	24	401,72	28	468,61
BUE-PSS-BUE	Convencional	42	582,25	48	665,43
	Lowcost	28	422,98	34	513,61
BUE-IGR-BUE	Convencional	168	2.970,08	194	3.429,24
	Lowcost	28	489,84	32	559,82
BUE-PDP-BUE	Convencional	28	174,79	32	199,76
	Lowcost	10	87,70	12	105,24
BUE-SLA-BUE	Convencional	140	2.769,93	162	3.205,17
	Lowcost	10	197,13	12	236,56
BUE-BRC-BUE	Convencional	126	2.554,52	144	2.919,45
	Lowcost	28	565,21	34	686,32
BUE-SDE-BUE	Convencional	14	227,11	16	259,55
	Lowcost	8	129,20	10	161,49
BUE-TUC-BUE	Convencional	70	1.236,59	80	1.413,24
	Lowcost	10	175,59	12	210,71
COR-IGR-COR	Convencional	14	196,64	16	224,73
	Lowcost	8	146,49	10	183,12
COR-MDZ-COR	Convencional	28	219,26	32	250,58
	Lowcost	8	79,55	10	99,44

Tabla 3 – Rutas, frecuencias y CO<sub>2</sub>.

Se presenta a continuación un único gráfico en donde se pueden comparar las emisiones de diferentes flotas, para una misma cantidad de frecuencias semanales.

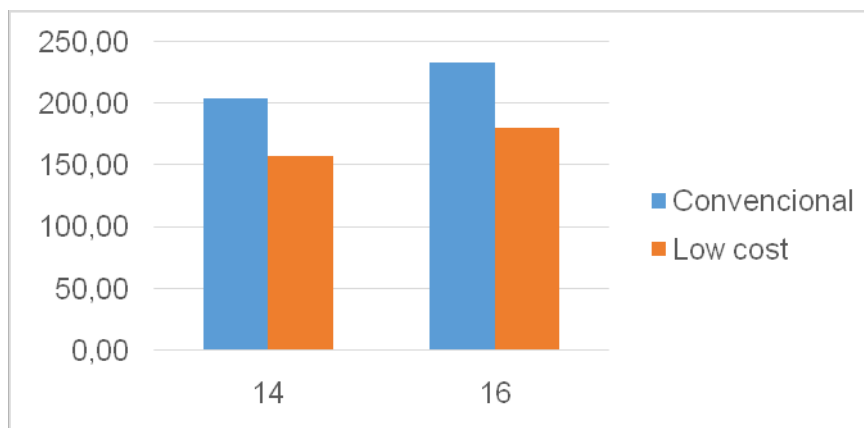


Gráfico 3 – Toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas para una misma ruta y diferente flota.

Por último se presentan las sumas totales de las emisiones de CO<sub>2</sub> actuales y proyectadas (en toneladas), discretizadas por tipo de línea aérea.

	Actual	Proyectado	Incremento
Total convencional	20.469,61	23.560,90	15,10%
Total bajo costo	4.988,86	5.958,79	19,44%

Tabla 4 – Total de emisiones para los diferentes escenarios.

## CONCLUSIONES

Este trabajo sirve para obtener un panorama general sobre los porcentajes de participación de las diferentes empresas según su tipo de negocio, es decir, convencionales y de bajo costo. Resulta interesante desde el punto de vista del transporte en general, y el aéreo en particular, ya que es un modelo de negocio relativamente nuevo en nuestro país. Asociado a ello, y no menos importante, se analizan las emisiones contaminantes, específicamente las de dióxido de carbono, el cual debe ser contemplado y cuantificado por todas las empresas, para cumplir con el esquema de reducción y/o compensación dispuesto por OACI. Si bien este programa entra en vigencia en algunos años, y no aplica a todas las empresas, si no que depende de ciertos parámetros, en el futuro no muy lejano todos los operadores aéreos en Estados miembros de OACI deberán cumplir con los requisitos en relación a los contaminantes.

De los resultados obtenidos, se puede observar que los valores obtenidos de emisiones son fuertemente dependientes de la flota, es decir, de los motores que equipan a las aeronaves, en definitiva del consumo de combustible. Analizando el incremento total en las rutas tenidas en cuenta, el mismo coincide prácticamente con las proyecciones planteadas. Es de esperar que las empresas actualicen sus flotas, y estos valores vayan variando, reduciéndose, a medida que se mejoren los estándares de emisiones de los motores.

Es de interés revisar, en períodos determinados, este trabajo para visualizar las modificaciones que vayan sufriendo las flotas, las empresas, y la porción de mercado, así como la relación directa con las aeronaves, tipos de motores y estándares de mantenimiento; esto último queda pendiente para su incorporación en un modelo más preciso para el cálculo de contaminantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ICAO CarbonEmissionsCalculatorMethodology, versión 10, 2017.
- [2] ICAO Aircraft Engine Emissions Databank, v.5 2018 (<https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>)
- [3] Gas turbine combustion, alternative fuels and emissions, A. Lefebvre & D. Ballal, CRC Press, 2010.