

ESTUDIO COMPARATIVO DEL APORTE CONTAMINANTE GASEOSO DE LOS GAV EN LOS AEROPUERTOS DE SAEZ Y SABE

Carlos Trujillo⁽¹⁾, M. Coppa⁽¹⁾, L. Sznajderman^(1,2), A. Di Bernardi⁽¹⁾

(1) 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, Pcia. Buenos Aires, Argentina

(2) CIC (Comisión de Investigaciones Científicas), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación

carlostrujilloguerrero@gmail.com

Palabras claves: aeropuertos, contaminantes, inventario, emisiones, GAV

Resumen

Siendo el aeropuerto un intercambiador modal de transporte, aire-tierra y tierra-aire, existen en el mismo, distintos procesos y actividades que generan, en su operación, aportes contaminantes gaseosos. En este contexto se deben considerar las emisiones derivadas de distintas fuentes como: las aeronaves; los vehículos de asistencia en tierra GSE (Ground Support Equipment); las terminales (sean de carga o pasajeros en relación a los servicios que se brindan en los mismos); y, aquellas emisiones originadas por la operación de los vehículos de acceso terrestre al aeropuerto denominados en su conjunto GAV (Ground Access Vehicles), asociados al transporte de empleados, pasajeros y carga.

El objetivo del trabajo es cuantificar el aporte contaminante gaseoso producido por los distintos vehículos de acceso en tierra (GAV) en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza y el Aeropuerto Internacional Jorge Newbery, con la finalidad de comparar las emisiones debido a la cantidad de pasajeros transportados. Se presenta la cantidad de emisiones gaseosas de los siguientes contaminantes: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) que son los gases más contaminantes de efecto invernadero.

La metodología aplicada es la recomendada por organismos internacionales de referencia[1]–[5] para la cual se tiene en cuenta la cantidad de kilómetros transitados de acuerdo a la flota vehicular, el tipo de combustible, porcentaje de modos de acceso al aeropuerto[6]; también es necesario la obtención de factores de emisión de cada contaminante. Otros parámetros intervinientes para el estudio comparativo son los factores de ocupación de los distintos vehículos y distancias de las rutas de acceso.

A partir de los resultados se comparan los emplazamientos aeroportuarios para la identificación de índices de emisión gaseosa por cantidad de pasajeros transportados. Además, en el estudio comparativo se identifica la variación del aporte contaminante total y por tipo de fuente, para evidenciar las fuentes de mayor contaminación con la finalidad de proponer maneras de mitigación o reducción de gases contaminantes.

Introducción

El volumen del tráfico aéreo mundial se ha ido duplicando una vez cada 15 años desde 1977, y se espera que este crecimiento continúe a pesar de ciclos de recesión cada vez mayores. Se pronostica que el tráfico regular de pasajeros, medido en términos de Revenue Passenger

Kilometres (RPK), crezca de cinco mil millones a más de 13 mil millones en el período: 2010-2030, con un promedio anual de tasa de crecimiento de 4,9% [7]. Respecto al tráfico internacional de pasajeros, se estima un aumento del 5,1% anual, mientras que el tráfico doméstico crecería a un ritmo más lento del 4,4% (período 2010-2030).[8]

La consecuencia directa del crecimiento del tráfico aéreo es un mayor consumo de combustible y una mayor contaminación gaseosa que afecta la calidad del aire, de vida, la fauna y zonas protegidas en las áreas vecinas a un aeropuerto. Considerando además que la tendencia temporal del crecimiento urbano lleva a la ciudad hacia las inmediaciones del predio aeroportuario, la anticipada identificación de áreas sensibles permite una menor afectación tanto en el desarrollo urbano como aeroportuario bajo la premisa de competitividad territorial.

En los aeropuertos, además de registrarse las emisiones por la operación de las aeronaves, se determinan como principales fuentes de emisión las procedentes de los vehículos de transporte en accesos y estacionamientos del aeropuerto (GAV – Ground Access Vehicles), las de fuentes estacionarias (calderas y depósitos de combustible, edificio terminal), las que se generan en las prácticas contra incendios, y aquellas procedentes de vehículos de apoyo en tierra (GSE - Ground Support Equipment). Se presenta a continuación una imagen representativa las principales fuentes de emisiones en un aeropuerto:



Figura 1. Principales fuentes de emisiones gaseosas contaminantes en un aeropuerto.

El presente estudio se enfoca en la cuantificación de aporte contaminante gaseoso generado por los GAV.

De acuerdo a OACI [1] es recomendable que cada aeropuerto cuente con su inventario de emisiones con el objetivo de:

- Colectar información y monitorear las tendencias para evaluar escenarios futuros;
- Evaluar comparativamente en acuerdo a requerimientos legales;
- Crear datos de entrada para modelos de dispersión en un esfuerzo para determinar la concentración de contaminantes; y
- Establecer bases para programas de mitigación.

El inventario de emisiones gaseosas puede ser realizado para distintos contaminantes y varias fuentes de emisión producto de la actividad de la aviación civil, en donde se separan los tipos contaminantes debido a 'Contaminantes base o primarios', 'Contaminantes peligrosos' y 'Contaminantes de efecto invernadero'. El estudio actual se encarga de la cuantificación en lo que respecta a los principales gases de efecto invernadero producto de la circulación vehicular desde y hacia el aeropuerto.

Aeropuertos bajo estudio

Se lleva a cabo un análisis comparativo entre los Aeropuertos de Ezeiza y Aeroparque. Es importante el análisis de dichos aeropuertos debido a sus características operativas, donde en el aeropuerto de Ezeiza presentan una distribución de aproximadamente 80% de operaciones internacionales y 20% de operaciones de cabotaje, situación inversa ocurre en el Aeropuerto Jorge Newbery. A su vez, debido a la cantidad de operaciones de aeronaves y movimientos de pasajeros estos dos aeropuertos son tomados como referencia a nivel nacional.

Tabla 1. Cantidad de pasajeros – Movimiento Operacional SNA 2017

Aeropuerto	OACI	Año	Domésticos	Internacionales	Tránsitos	Total
Ezeiza	SAEZ	2017	687.525	8.992.164	-	9.679.689
Aeroparque	SABE		10.201.728	3.059.709	-	13.261.437

Hipótesis y Metodología

En primer lugar, se discrimina la flota vehicular en 3 tipos: vehículo de pasajeros (auto particular), vehículos de transporte livianos (taxis, remises, VANS, transfer, entre otros) y vehículos de transporte pesados (buses, trenes, subterráneos, entre otros). Este a su vez se subdivide según tres tipos de combustible gasolina, diesel y gas natural comprimido (GNC).

El cálculo de emisiones gaseosas para este tipo de fuente de emisión vehicular se puede resumir como se muestra en la Ec. (1), relativamente sencilla.

$$E_{total,x} = (RL_1 \times NV_1 \times EF_{x,n}) + (RL_2 \times NV_2 \times EF_{x,n}) + \dots + (RL_n \times NV_n \times EF_{x,n}) \quad (1)$$

Dónde:

$E_{total,x}$: total de aporte gaseoso del contaminante x en cada segmento de ruta de acceso.

RL_n : longitud de ruta de acceso n .

NV_n : cantidad de vehículos según la mezcla de flota en la ruta de acceso n .

$EF_{x,n}$: factor de emisión del contaminante x según tipo de vehículo en la ruta de acceso n .

Sin embargo, la obtención de los kilómetros transitados debido al producto de los factores " $RL_n \times NV_n$ " requiere de otros parámetros que son presentados en la metodología general (Ver Figura 2) para una adecuada organización de los parámetros necesarios de cada emplazamiento aeroportuario.



Figura 2. Metodología general de cálculo de aporte contaminante

La aplicación de la presente metodología, en los aeropuertos de referencia, representa una primera aproximación teórica en la estimación del aporte contaminante gaseoso y la misma nos permite analizar los factores que influyen en el cálculo.

Aplicación de la Metodología

Definición de rutas de acceso

El aporte contaminante total resulta de la suma de emisiones que producen los vehículos en el trayecto de ida y vuelta al aeropuerto. Si bien existen varias rutas de acceso al aeropuerto, y con la finalidad de simular los traslados de la mezcla de flota vehicular, se toman como hipótesis tres rutas de acceso para ambos aeropuertos (Ver Figura 3, Figura 4):

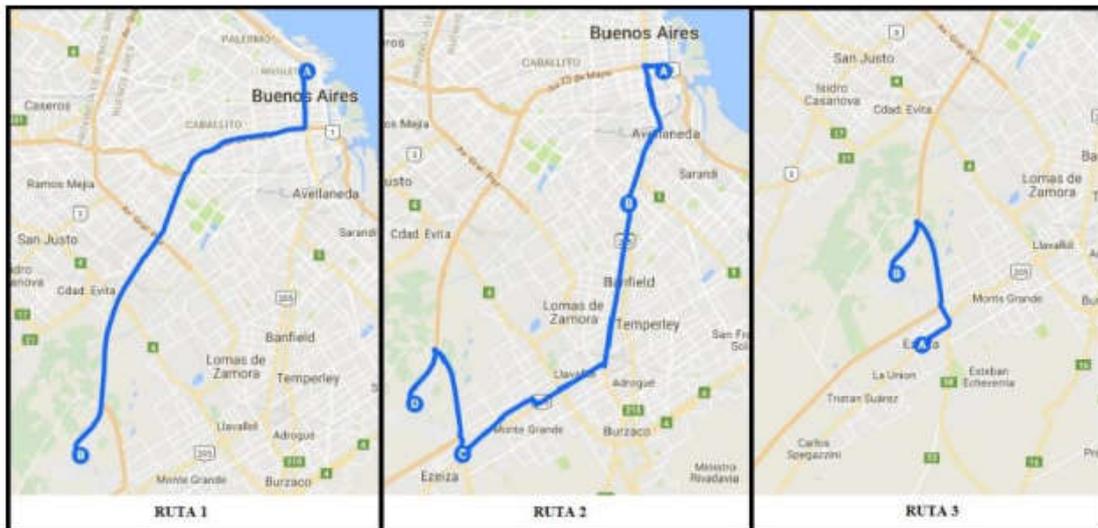


Figura 3. Esquema rutas de acceso al Aeropuerto Internacional de Ezeiza

Tabla 2. Rutas de acceso terrestre Aeropuerto Internacional de Ezeiza.

Ruta	Definición	Distancia, km
1	CABA - SAEZ	65
2	Autobús - SAEZ	83
3	Estación tren Ezeiza - SAEZ	28

Dónde:

- CABA-SAEZ: ruta principal, distancia promedio desde el barrio de Retiro y Constitución hacia el aeropuerto, el recorrido de la misma se realiza por autopistas.
- Autobús-SAEZ: ruta secundaria, desde el barrio Constitución hacia el aeropuerto, el recorrido de la misma es determinada por la línea de autobuses actuales que prestan servicios hasta Ezeiza.
- Estación tren Ezeiza-SAEZ: ruta secundaria, distancia desde Estación de tren en Ezeiza hacia el aeropuerto.

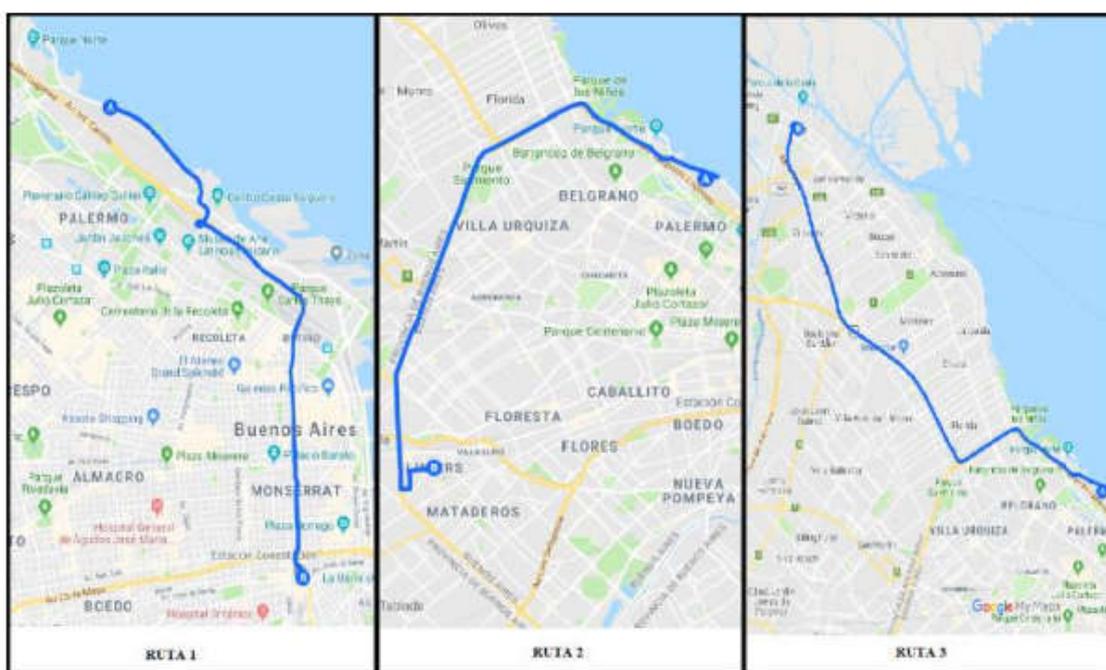


Figura 4. Esquema rutas de acceso al Aeropuerto Jorge Newbery.

Tabla 3. Rutas de acceso terrestre Aeropuerto Jorge Newbery.

Ruta	Definición	Distancia, km
1	Constitución - SABE	20
2	Liniers - SABE	46
3	Tigre - SABE	51

Dónde:

- Constitución-SABE: ruta Sur, distancia promedio recorrida desde la estación de trenes en Constitución (a lo largo de la Av. 9 de Julio hasta Retiro) hasta la entrada de la terminal del aeropuerto Jorge Newbery (circuito línea de colectivos N°45).

- Once-SABE: ruta Oeste, distancia mínima recorrida desde la Localidad de Liniers (Ubicación Oeste de CABA), circuito: Av. Gral Paz seguido por Av. Int. Cantilo y finalmente Av. Costanera Rafael Obligado hasta la terminal del aeropuerto Jorge Newbery.

- Liniers-SABE: ruta Norte, Ramal Tigre, Autopista Panamericana, Av. Gral Paz, Av. Int. Cantilo hasta la terminal del aeropuerto Jorge Newbery.

Situaciones de estudio

En esta etapa de la metodología se obtienen como resultados la cantidad de kilómetros transitados de acuerdo a la mezcla vehicular, por lo cual se identifican otras variables involucradas: factor de ocupación vehicular, porcentaje de circulación por mezcla de flota vehicular y porcentaje de circulación vehicular por tipo de combustible (Ver Figura 5).

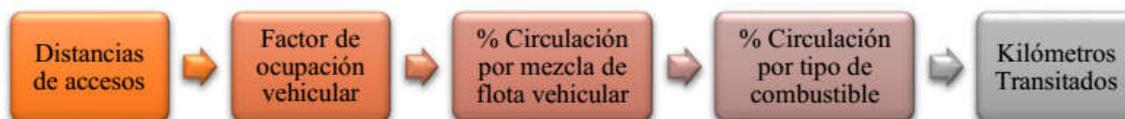


Figura 5. Método de cálculo de kilómetros transitados debido a la flota vehicular.

Las situaciones de análisis son determinadas a partir de la cantidad de pasajeros distribuidos por modos de acceso según los datos clave de cada Aeropuerto [9],[10], ver Tabla 4, Tabla 5, donde el porcentaje de modos de acceso se aplica a la cantidad de pasajeros total, menos los pasajeros en tránsito ya que estos no usan el servicio de transporte en tierra.

Tabla 4. Porcentajes Modos Acceso – Datos Clave SAEZ 2016

	Taxi	Auto particular	Transfer	Transporte público
%	48	30	21	1
Pasajeros anuales	4.600.000	2.900.000	2.000.000	97.000

Tabla 5. Porcentajes Modos de Acceso – Datos Clave SABE 2016

	Taxi	Auto particular	Transfer	Transporte público
%	61	23	10	6
Pasajeros anuales	8.000.000	3.000.000	1.300.000	796.000

A continuación, ver Tabla 6, se definen los factores de ocupación vehicular para identificar cuantos pasajeros viajan en cada tipo de medio de transporte.

Tabla 6. Factor de ocupación vehicular

Medio de transporte	Factor de ocupación	Cantidad de pasajeros por vehículo
Taxi	0,6	3
Auto particular	0,6	3
Transfer	0,8	17
Transporte público	0,6	27

Agrupando los pasajeros de acuerdo al modo de acceso y según su respectivo factor de ocupación vehicular se logra obtener el porcentaje de circulación por la mezcla de la flota, ver Tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de Circulación Vehicular.

Aeropuerto	Parámetro	Taxi	Auto particular	Transfer	Transporte público
SAEZ	Cantidad Vehículos	1.600.000	960.000	119.000	3.500
	% Circulación vehicular	59,65	35,79	4,44	0,13
SABE	Cantidad Vehículos	2.700.00	1.000.000	78.000	30.000
	% Circulación vehicular	70,88	26,25	2,07	0,79

Finalmente, para obtener la cantidad de kilómetros transitados (2 situaciones de estudio: Tabla 8 y Tabla 9), se aplica el porcentaje de circulación vehicular relativo al tipo de combustible [11]: circulación por Gas Natural Comprimido (GNC) 14.5%, circulación por Gasolina 50% y circulación por Diésel 35.5%.

Tabla 8. Kilómetros transitados para el Aeropuerto de Ezeiza (SAEZ).

Tipo de flota	Tipo de combustible	Kilómetros transitados	Kilómetros transitados totales
Autos Pasajeros	CNG	8.700.000	60.000.000
	Gasolina	30.000.000	
Vehículos de transporte livianos	Diésel	21.300.000	103.700.000
	CNG	15.000.000	
	Gasolina	52.000.000	
Vehículos de transporte pesados	Diésel	36.700.000	196.000
	CNG	0	
	Gasolina	115.000	
	Diésel	81.000	

Tabla 9. Kilómetros transitados para el Aeropuerto Jorge Newbery (SABE)

Tipo de flota	Tipo de combustible	Kilómetros transitados	Kilómetros transitados totales
Autos Pasajeros	CNG	4.100.000	28.400.000
	Gasolina	14.200.000	
Vehículos de transporte livianos	Diésel	10.100.000	77.600.000
	CNG	11.200.000	
	Gasolina	38.800.000	
	Diésel	27.600.000	
Vehículos de transporte pesados	CNG	0	704.000
	Gasolina	412.000	
	Diésel	292.000	

Factores de emisión

Los factores de emisión son obtenidos a partir de la Agencia de Protección Ambiental (EPA)[12], los cuales si bien surgen a partir de un análisis estadístico de vehículos en EEUU es válido adaptar los valores a nivel nacional dado que es posible discriminarlos por el año de la flota circulante, para lo cual es preciso conocer el año promedio de circulación del parque automotor en Buenos Aires[11].

Los factores de emisión de cada contaminante son agrupados por tipo de vehículo y tipo de combustible, en unidades de masa por kilómetro transitado, ver Tabla 10.

Tabla 10. Factores de emisión de cada producto contaminante

Tipo de flota	Tipo de combustible	Producto Contaminante		
		kg CO ₂ /km	g CH ₄ /km	g N ₂ O/km
Auto Pasajeros	GNC	0,144	0,458	0,031
	Gasolina	0,233	0,010	0,003
	Diésel	0,170	0,000	0,001
Vehículos de transporte livianos	GNC	0,144	0,458	0,031
	Gasolina	0,318	0,010	0,005
	Diésel	0,327	0,001	0,001
Vehículos de transporte pesados	GNC	0,144	1,221	0,109
	Gasolina	1,673	0,020	0,009
Motocicletas	Diésel	0,881	0,003	0,003
	Gasolina	0,125	0,042	0,004

Resultados

Los resultados son reducidos a dióxido de carbono equivalente (CO_2e) con el respectivo coeficiente de potencial de calentamiento global (Global Warming Potential, GWP) metano GWP: 25 y óxido nitroso GWP: 298[12]. Evaluando el total de emisiones gaseosas en CO_2e , cabe destacar que el aporte del metano en conjunto con el óxido nitroso es mínimo en relación al propio dióxido de carbono (CO_2) (Ver Figura 6).

Se presentan gráficos comparativos, totales y según el tipo de vehículo, del aporte contaminante gaseoso anual de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) (Ver Figura 6 y Figura 7). Además, se presentan los índices de contaminación gaseosa (unidades de masa del contaminante /parámetro) por vehículo y por vehículo pasajero, como se muestra en la Tabla 11.

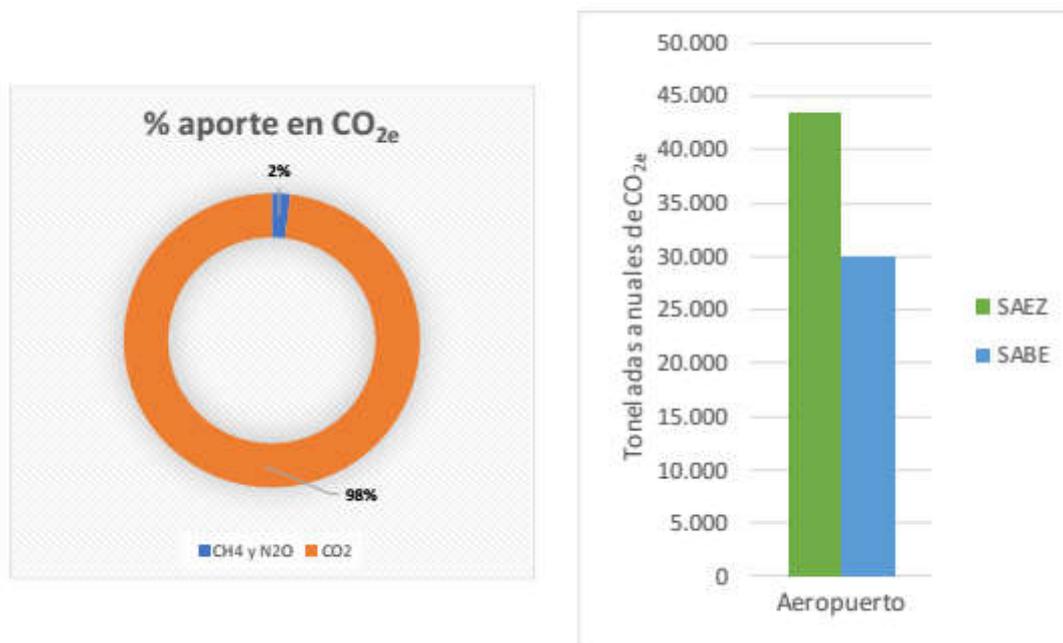


Figura 6. Porcentaje de CO_2e debido a sus contaminantes respecto del total de emisiones – Aporte Contaminante Anual CO_2e comparativo Ezeiza vs Aeroparque, 2017

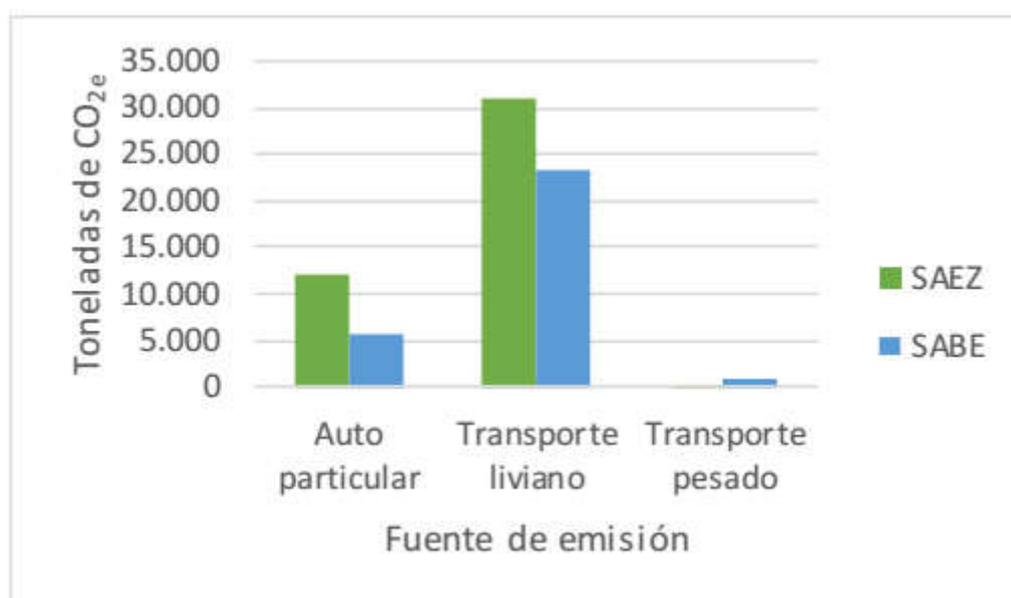


Figura 7. Aporte contaminante gaseoso anual por flota vehicular, CO_2e comparativo Ezeiza vs Aeroparque, 2017.

Tabla 11. Índices de contaminación por CO₂ producto de los distintos vehículos de acceso en tierra a los aeropuertos de Ezeiza y Aeroparque, año 2017.

Tipo de vehículo	SAEZ	SABE	SAEZ	SABE
	kg/vehículo		kg/vehículo-pasajero	
Auto particular	12,44	6,60	4,15	2,20
Remis	18,63	9,89	6,21	3,30
Transfer	18,62	9,90	1,10	0,58
Transporte público	84,62	44,93	3,13	1,66

Conclusiones

Mediante la reducción a dióxido de carbono equivalente se puede identificar que los contaminantes metano y óxido nitroso en conjunto representan un 2% del total de emisiones en relación a lo que representa el dióxido de carbono como se muestra en la Figura 6. Esto se debe principalmente por el orden de magnitud de los factores de emisión.

El aporte contaminante gaseoso de Ezeiza es 43.300 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente, mientras que en Aeroparque es 30.000 lo cual representa un 30% menos de contaminación gaseosa. Esta diferencia se ve marcada por la cantidad de kilómetros transitados por toda la flota vehicular, como se muestran en Tabla 8 y Tabla 9, en donde, se puede destacar que las rutas para llegar a Ezeiza son más largas que el caso de Aeroparque que es un aeropuerto emplazado en un entorno urbano.

Evaluando el aporte contaminante en detalle, debido al tipo vehicular, se puede observar que Aeroparque presenta un menor aporte contaminante respecto a Ezeiza: del 14% debido a "Auto particular" y del 17% debido al "Transporte Liviano"; mientras que, en la contaminación debido al "Transporte Pesado" Aeroparque cuenta con un aporte del 2% mayor respecto a Ezeiza. Dicho comportamiento se debe principalmente a la cantidad de kilómetros transitados por cada flota vehicular en donde se identifica la relación de estos kilómetros con el porcentaje de modos de acceso de cada emplazamiento aeroportuario.

En relación a los índices de contaminación gaseosa, estos nos permiten una aproximación teórica sencilla en caso de que se quieran cambiar los criterios de comparación, es decir, calcular el aporte contaminante si cambia la cantidad de vehículos en circulación y también si cambia el factor de ocupación de dichos vehículos.

Trabajos Futuros

- Evaluación del inventario de emisiones gaseosas completa debido al resto de las fuentes de emisión vinculadas a la actividad de la aviación civil como lo son las aeronaves, los GSE y las fuentes de emisión estacionarias.
- Desarrollo y estudio de huellas de dispersión y concentración de emisiones gaseosas.
- Análisis comparativo de los índices de emisión gaseosa para aeropuertos de similares características de emplazamiento urbano y periférico.

Referencias:

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Doc 9889: Airport air quality manual," 2011.
- [2] K. B. E. M. Kenney, C. Fowler, M. Ratte, P. Sanford, P. Pringle, F. A. A. C. Sequeira, and N. Didyk, "Aviation Emissions and Air Quality Handbook Version 3," 2014.
- [3] Airport Cooperative Research Program, *Report 11: Guidebook on Preparing Airport Greenhouse Gas Emissions Inventories*. Washington, 2009.
- [4] Airports Council International, "Manual de Orientación : Gestión de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en los Aeropuertos."

- [5] Ihobe S.A., *Guía Metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones*. Bilbao, 2012.
- [6] Organismo Regulador del Sistema Nacional Aeroportuario, “Sistema Nacional Aeroportuario, SNA-Datos Clave 2016,” p. 1, 2016.
- [7] Boeing, “Current Market Outlook 2013 –2032,” p. 42, 2013.
- [8] Boeing, *Current Market Outlook - 2017-2036*. Seattle: Boeing Commercial Airplanes Market Analysis, 2017.
- [9] Organismo Regulador del Sistema Nacional Aeroportuario, “Sistema Nacional Aeroportuario, Ezeiza Datos Clave 2016,” p. 1, 2016.
- [10] Organismo Regulador del Sistema Nacional Aeroportuario, “Sistema Nacional Aeroportuario, Aeroparque Datos Clave 2016,” p. 1, 2016.
- [11] Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes. AFAC .: [online] Available at: <http://www.afac.org.ar/> [Accessed 28 Jun. 2017].
- [12] U. EPA, “Center for Corporate Climate Leadership GHG Emission Factors Hub,” 2017. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/climateleadership/center-corporate-climate-leadership-ghgemission-factors-hub>.