

ANÁLISIS DEL APORTE CONTAMINANTE GASEOSO DE LOS GAV EN EL AEROPUERTO DE EZEIZA

CARLOS TRUJILLO¹; LUCAS SZNAJDERMAN^{1,2}; MATÍAS COPPA¹; JUAN IGNACIO D’LORIO¹; ALEJANDRO DI BERNARDI¹

¹Grupo 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

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

RESUMEN

El objetivo del trabajo es cuantificar y comparar el aporte contaminante gaseoso producido por distintos vehículos de acceso en tierra (GAV) en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza. 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 de cálculo requiere la estimación de la cantidad de kilómetros transitados (VKT: Vehicles Kilometers Travelled) de acuerdo a la mezcla de flota vehicular y el tipo de combustible; también es necesario la obtención de factores de emisión de cada contaminante. Otros parámetros intervinientes en el desarrollo son factores de ocupación de los distintos vehículos y distancias de rutas de acceso.

En el análisis comparativo se identifica la influencia de ciertos parámetros en el aporte contaminante total y por tipo de fuente, con lo cual se puede evidenciar los factores que más afectan al aporte con el fin de proponer acciones de mitigación en las mismas.

ABSTRACT

The purpose of this study is to quantify and compare gaseous emissions from different Ground Access Vehicles (GAV) into the Ezeiza’s International Airport. In this study is shown the amount of gaseous emissions from the following contaminants: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) that there are the most contaminant greenhouse gases.

The methodology of calculate requires an estimation of vehicles kilometers traveled (VKT) for all vehicular fleet mix and different fuel; it is necessary to obtain the emissions factor per each contaminant. Other parameters in the development of this study are the occupancy factor from all vehicles and longitudes of access routes.

In the comparative analysis is identified the influence from some parameters into the total emission or partial by a source, wherewith it is possible to evidence the impact of each parameter with the target of present mitigation actions.

Palabras clave: aeropuertos, contaminantes, inventario, emisiones, GAV.

INTRODUCCIÓN

El transporte aéreo desempeña un papel importante en el desarrollo económico y social sostenible en el mundo. En forma directa e indirecta sostiene el empleo de 56,6 millones de personas, contribuye con más de \$2,2 billones al producto interno bruto (PIB), transporta más de 2.900 millones de pasajeros y el equivalente a \$5,3 billones anuales en carga [1]. En el futuro se prevé un crecimiento constante, dependiendo primordialmente del desarrollo económico, del comercio mundial y de la evolución de los costos de las líneas aéreas (el cual depende, a su vez, en gran medida del precio del combustible). Sin embargo, este crecimiento estará también influenciado por algunos desafíos como, la congestión de los aeropuertos y del espacio aéreo, la protección del medio ambiente y las crecientes necesidades de inversión de capital.

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%. 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). Cabe mencionar, que en este último sector se espera un crecimiento con un promedio anual de 5.2% de 2010 a 2030, incrementado de 200 billones de Revenue Passenger Kilometres (RTK) en 2010, a 562 billones en 2030.[2]

La consecuencia directa de un 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 de 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.

De acuerdo con el Documento 9889 "Airport Air Quality Manual" [3], los aeropuertos deben mantener un inventario de emisiones gaseosas 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.

En los aeropuertos, además de registrarse las emisiones procedentes de las aeronaves, se determinan como principales fuentes de emisión las procedentes de los vehículos de transporte en accesos y estacionamientos del aeropuerto (GAV), las procedentes de fuentes estacionarias (caldera y depósitos de combustible), las que se generan en las prácticas contraincendios, y aquellas procedentes de vehículos de apoyo en tierra o GSE (Ground Support Equipment). Si bien las emisiones producto de los movimientos de aeronaves representan el mayor porcentaje del total, en la actualidad no se han publicado estudios específicos que caractericen, cuantifiquen y discretizen el porcentaje de los distintos gases contaminantes respecto a las posibles fuentes en un aeropuerto.

La contaminación gaseosa producto del uso de vehículos impulsados por motores de combustión interna es un tema de preocupación mundial en la actualidad. Existe una gran variedad de contaminantes asociados al transporte vehicular: emisiones directas, gases de escape del motor; y emisiones indirectas, cuando los productos de combustión junto a los gases atmosféricos forman contaminantes gaseosos de efecto invernadero los cuales permanecen en el ambiente por un largo tiempo. A los fines del presente informe se analiza el aporte contaminante de los siguientes gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂),

metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), los cuales pueden ser sintetizados en dióxido de carbono equivalente según el potencial de calentamiento global [4].

HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

Para el análisis del aporte contaminante producido por la operación de los vehículos de acceso terrestre denominados en su conjunto como GAV (Ground Access Vehicles), es necesario establecer distintos parámetros que definirán los casos de estudio. El proceso de cálculo requiere de:

- Determinación de distancias de los segmentos de rutas de acceso.
- Determinación de porcentajes de circulación vehicular por mezcla de flota y por tipo de combustible.
- Determinación de la cantidad de kilómetros transitados de la mezcla de flota vehicular.
- Factores de emisión de cada contaminante en unidades de masa por kilómetro transitado.

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

La cantidad de kilómetros transitados por la mezcla vehicular (VKT: Vehicles Kilometers Traveled) es estimada a partir de datos del año 2016 del Aeropuerto Internacional de Ezeiza proporcionados por el ORSNA [6], en el cual se presenta cantidad de pasajeros anual y porcentajes de modos de acceso. En base a dichos datos oficiales se define un Escenario Inicial sobre la cual se analiza la influencia de los demás parámetros que afectan el estudio.

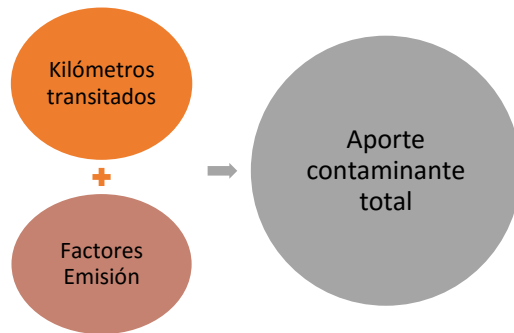


Figura 1. Diagrama de flujo sintetizado de cálculo emisiones

Se presenta a continuación los cálculos a realizar a de acuerdo a la metodología planteada:

$$E_{total} = (RL_1 \times NV_1 \times EF_1) + (RL_2 \times NV_2 \times EF_2) + \dots + (RL_n \times NV_n \times EF_n) \quad (1)$$

Dónde:

E_{total} : total de emisiones del gas x en cada segmento de ruta de acceso

RL_n : longitud de ruta de acceso n

NV_n : cantidad de kilómetros transitadas por mezcla de flota vehicular en la ruta de acceso n

EF_n : factor de emisión del gas x considerando tipo de flota vehicular en la ruta de acceso n

Se presenta a continuación un esquema de la metodología básica de cálculo en función de los parámetros anteriormente mencionados:

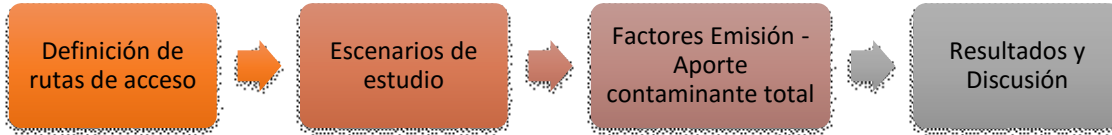


Figura 2. Metodología general de cálculo del aporte contaminante total

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, de esta manera se definen se toman como hipótesis tres rutas de acceso con su respectiva distancia total:

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

Tabla 1. Rutas de acceso terrestre

Dónde:

- CABA-EZE: ruta principal, distancia promedio desde el barrio de Retiro y Constitución hacia el aeropuerto, el recorrido de la misma se realiza por autopistas.
- Autobús-EZE: 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-EZE: ruta secundaria, distancia desde Estación de tren en Ezeiza hacia el aeropuerto.

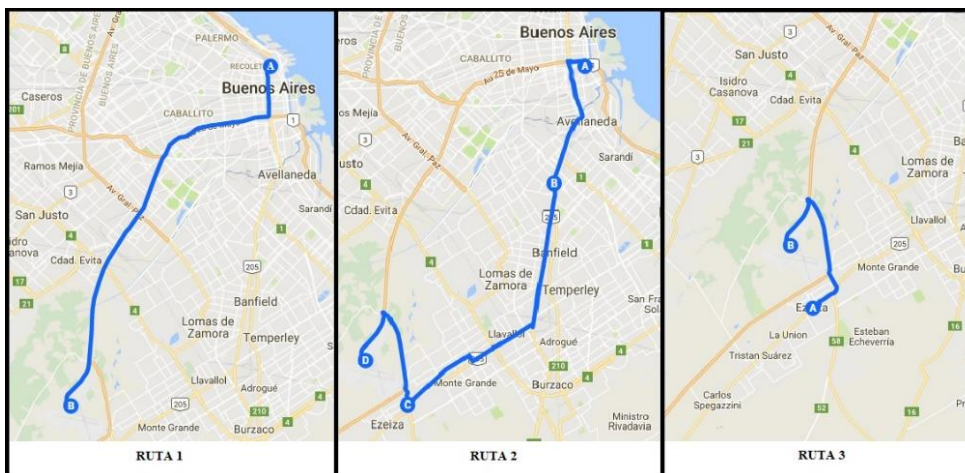


Figura 3. Rutas de acceso al Aeropuerto Internacional de Ezei

Escenarios de estudio

Los escenarios en análisis son definidas a partir de la cantidad de pasajeros distribuidos por modos de acceso según los datos clave del Aeropuerto [6], 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 2, 3.

Año	Domésticos	Internacionales	Tránsitos	Total
2016	726.607	8.912.221	192.299	9.831.127
%	7,39	90,65	1,96	100

Tabla 2. Cantidad de pasajeros – Datos Clave EZE 2016

	Taxi	Auto particular	Transfer	Transporte público
%	48	30	21	1
Pasajeros	4.626.637	2.891.648	2.024.154	96.388

Tabla 3. Porcentajes Modos Acceso – Datos Clave EZE 2016

Se plantean seis escenarios comparativos de análisis para el cálculo del aporte contaminante, donde mediante la modificación de los distintos parámetros el resultado es un cambio en la cantidad de kilómetros transitados totales.

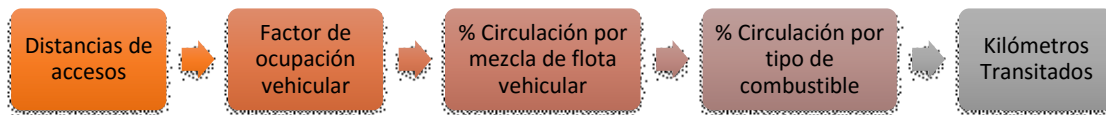


Figura 4. Método de cálculo kilómetros transitados para cada escenario de estudio

Escenario	Definición	Variación
A	Escenario inicial	-
B	Aumento factor de ocupación vehicular	↑ 15%
C	Aumento uso de transporte público	↑ 5%
D	Aumento porcentaje de circulación por combustible: diésel	↑ 5%
E	Reducción de distancias de rutas de acceso	↓ 5%
F	Comparación modos de acceso Aeroparque Internacional Jorge Newbery	-

Tabla 4. Escenarios de estudio

Escenario Inicial

La aplicación de los factores de ocupación determina la cantidad de vehículos circulantes: para vehículos de transporte livianos como autos particulares y taxis se supone que se transportan tres pasajeros por vehículo (sin contar el conductor), equivalente a un factor de ocupación de 0,6; los vehículos de transporte pesado como transfer (capacidad máxima 21 pasajeros) y transporte público (capacidad máxima 45 pasajeros) se suponen con un factor de ocupación de 0,8 y 0,6 respectivamente, Tabla 5.

	Taxi	Auto particular	Transfer	Transporte público
Cantidad Vehículos	1.600.000	960.000	119.000	3.500
% Circulación vehicular	59,65	35,79	4,44	0,13

Tabla 5. Circulación Vehicular del Escenario Inicial

Los porcentajes de circulación vehicular relativo al tipo de combustible según la flota vehicular 2015 en Argentina [7], son: circulación por Gas Natural Comprimido (GNC) 14,5%, circulación por Gasolina 50% y circulación por Diésel 35,5%. Con los parámetros definidos se obtiene la cantidad de kilómetros transitados de la mezcla vehicular, Tabla 6.

Tipo de flota	Tipo de combustible	Kilómetros transitados anuales	Kilómetros transitados totales anuales
Autos Pasajeros	CNG	8.703.962	60.027.323
	Gasolina	30.013.662	
	Diésel	21.309.700	
Vehículos de transporte livianos	CNG	15.001.101	103.455.872
	Gasolina	51.727.936	
	Diésel	36.726.835	
Vehículos de transporte pesados	CNG	0	195.944
	Gasolina	114.587	
	Diésel	81.357	

Tabla 6. Kilómetros Transitados para el Escenario Inicial

Para el caso del escenario F (con los modos de acceso del Aeropuerto Internacional Jorge Newbery) es necesario conocer el porcentaje de pasajeros que se trasladan en los diferentes tipos de vehículo, como se muestra a continuación [6].

	Taxi	Auto particular	Transfer	Transporte público
%	61	23	10	6

Tabla 7. Porcentajes Modos Acceso – Datos Clave AEP 2016

Factores de emisión

Los factores de emisión son obtenidos a partir de la Agencia de Protección Ambiental (EPA)[5], 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 [7].

Los factores de emisión de cada contaminante son agrupados por tipo de vehículo y tipo de combustible, en unidades de masa por kilómetro transitado, Tabla 8.

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
	Diésel	0,881	0,003	0,003

Tabla 8. Factores de emisión de cada producto contaminante

RESULTADOS

Se presentan gráficos comparativos del aporte gaseoso contaminante de dióxido de carbono equivalente con el propósito de identificar las fuentes de emisión que más aportan y a su vez evidenciar la influencia de los parámetros previamente presentados en el aporte contaminante total.

Los resultados son reducidos a dióxido de carbono equivalente (CO₂e) con el respectivo coeficiente de potencial de calentamiento global (Global Warming Potential, GWP) metano GWP: 25 y óxido nitroso GWP: 298 [5]. Cabe destacar que el aporte del metano y óxido nitroso al dióxido de carbono equivalente es mínimo como se lo puede identificar en la siguiente Figura.

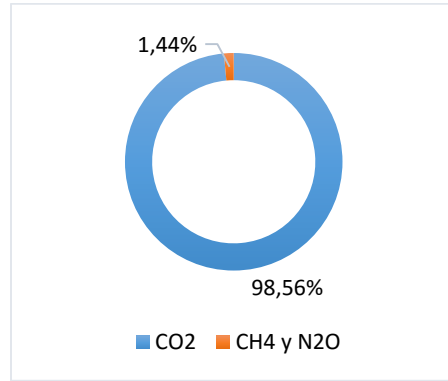


Figura 5. Escenario Inicial – Aporte Contaminante en CO2 equivalente

Aporte contaminante por fuente de emisión

Se evidencia el impacto de cada factor en el aporte gaseoso total de acuerdo a la fuente de emisión, para poder concluir sobre los factores más representativos con la finalidad de enfocar las acciones de mitigación de emisiones.

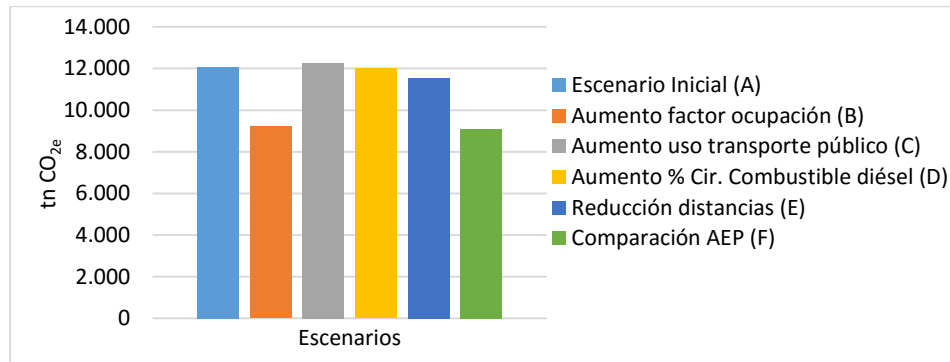


Figura 6. Aporte contaminante anual dióxido de carbono equivalente – Autos Pasajeros

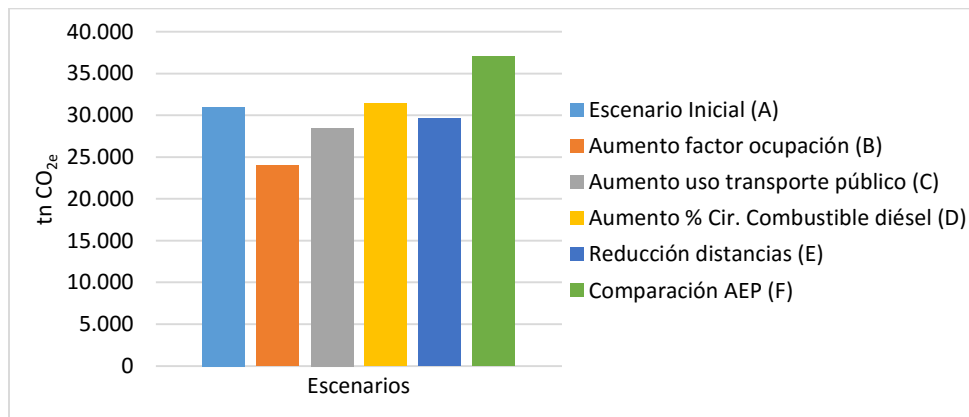


Figura 7. Aporte contaminante anual dióxido de carbono equivalente – Vehículos de transporte livianos

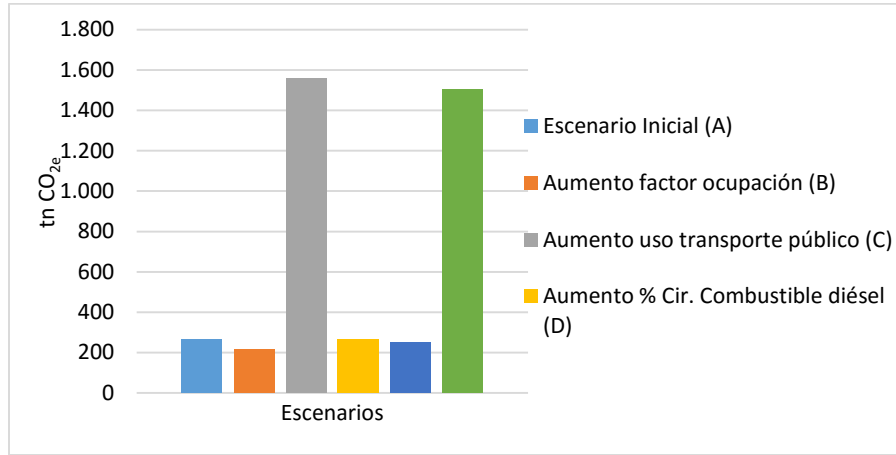


Figura 8. Aporte contaminante anual dióxido de carbono equivalente – Vehículos de transporte pesados

Aporte Contaminante Total

Se presenta la cantidad total de aporte contaminante gaseoso debido a todas las fuentes de emisión, Figura 9. Además, se analiza la variación porcentual relativo de cada escenario respecto de la ‘Escenario Inicial’, Figura 10.

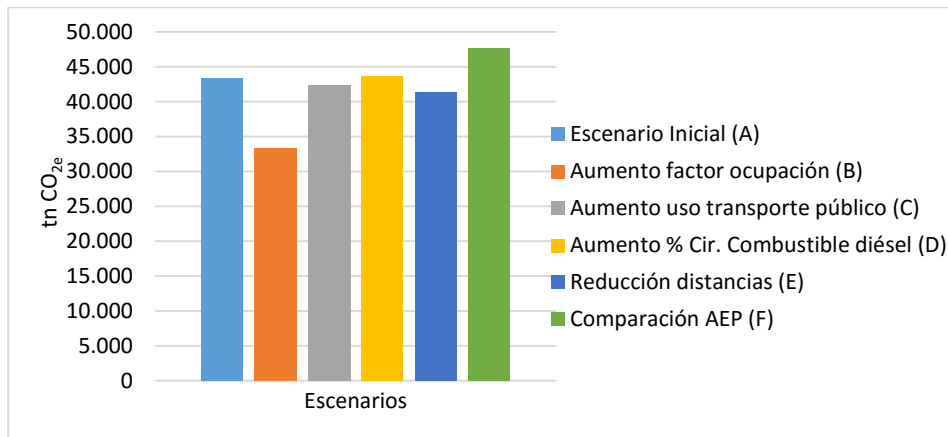


Figura 9. Aporte contaminante total anual dióxido de carbono equivalente

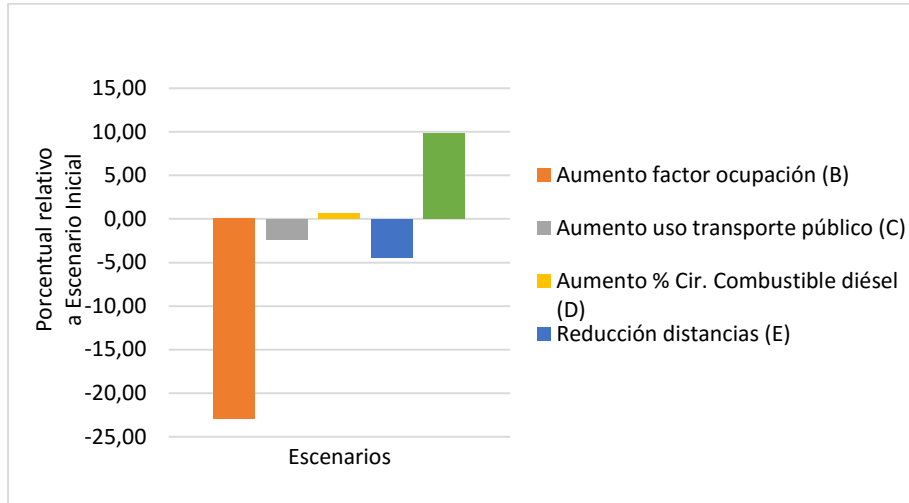


Figura 10. Variación porcentual del aporte contaminante total anual relativo al Escenario Inicial.

Aporte contaminante total de gases específicos

Se presenta el aporte contaminante total del gas metano y de óxido nitroso sintetizado en dióxido de carbono equivalente, Figura 11 y 12 respectivamente; con la finalidad de identificar los órdenes de magnitud de los mismos respecto del dióxido de carbono equivalente total.

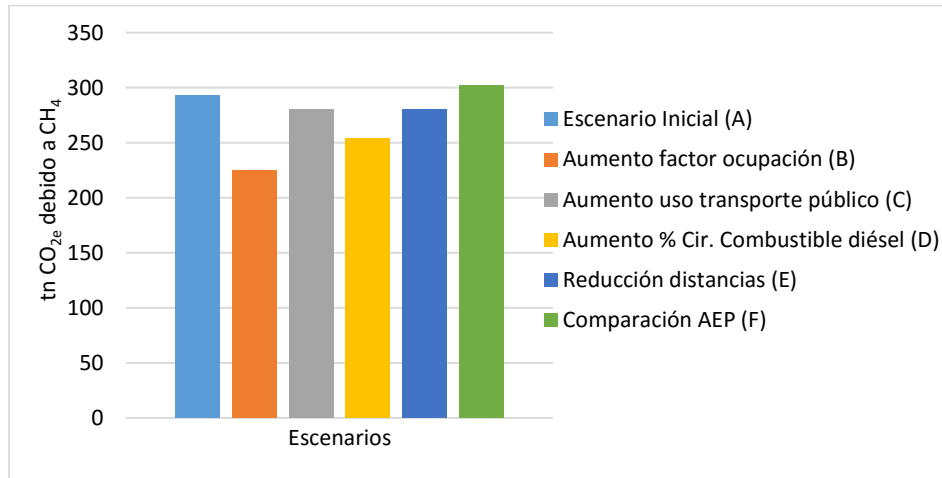


Figura 11. Dióxido de carbono equivalente total debido al gas metano. (Anualizado)

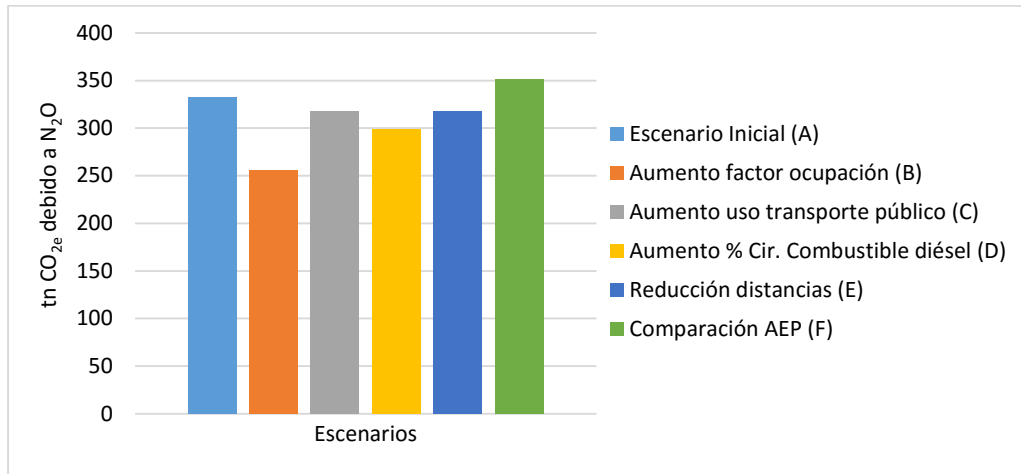


Figura 12. Dióxido de carbono equivalente total debido al óxido nitroso. (Anualizado)

CONCLUSIONES

Si bien el transporte terrestre de pasajeros no es directamente controlado por el operador aeroportuario es necesario contar con un inventario completo de emisiones gaseosas y el aporte de los GAV deben estar por cuanto incluido. Un aeropuerto en si es un intercambiador modal de transporte y por lo tanto debe contemplar la totalidad de transportes que éste incluye.

A partir del trabajo realizado, se observa que en los análisis por tipo de fuente de emisión en el escenario inicial los vehículos de transporte liviano emiten 30.000 toneladas de dióxido de carbono equivalente; seguidos por la emisión de autos de pasajeros en el orden de 10.000 toneladas; y por último, los vehículos de transporte pesados en el orden de 250 toneladas.

En los resultados de aporte contaminante gaseoso total por escenario, se identifican los factores que hacen reducir el aporte contaminante, en orden de impacto, estos son: el aumento del factor de ocupación vehicular, el aumento de uso de transporte público y la reducción de las distancias de las rutas de acceso. Siendo, el factor de ocupación, el más influyente en la reducción de la emisión en un 25% del total; esto se debe a que este parámetro reduce considerablemente la cantidad de vehículos circulantes.

Por otro lado, se puede observar un aumento de la emisión total del 1%, debido a la variación del porcentaje de circulación vehicular por tipo de combustible (diésel); y un aumento del 10% en el escenario comparativo con los porcentajes de modos de acceso del Aeropuerto Jorge Newbery, en donde estos porcentajes presentan el uso de transporte público mayor al que tiene el aeropuerto Internacional de Ezeiza, sin embargo, el uso de transporte público no es lo suficientemente significativo para reducir la circulación vehicular de la flota restante.

Es necesario destacar que los resultados obtenidos no tienen en cuenta correcciones en los factores de emisión considerando la velocidad de circulación vehicular, como así tampoco las particularidades de las horas pico. Por lo que se espera encontrar en nuevos estudios una segmentación más detallada de rutas de acceso donde se tenga en cuenta velocidades, rampas y horarios de circulación.

Para completar el inventario de emisiones gaseosas producto de la actividad aeroportuaria resulta necesario el análisis de aporte contaminante de otras fuentes presentes en el aeropuerto ya sean: estacionarias, móviles, discretas o continuas, según tipo y características de operación (según modelos de gestión) en el

contexto de las configuraciones de las infraestructuras e instalaciones de la parte aeronáutica, en la parte pública, y en los elementos de apoyo al aeródromo.

REFERENCIAS

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO), “Global Air Navigation Plan - Capacity and Efficiency,” 2013.
- [2] Boeing, “Current Market Outlook 2013 –2032,” 2013.
- [3] International Civil Aviation Organization (ICAO), “Doc 9889: Airport air quality manual,” 2011.
- [4] 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.
- [5] U. EPA, “Center for Corporate Climate Leadership GHG Emission Factors Hub,” 2017. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/climateleadership/center-corporate-climate-leadership-ghg-emission-factors-hub>.
- [6] Orsna.gob.ar. (2017). Datos Claves de Aeropuertos. [online] Available at: <https://www.orsna.gob.ar/informes-y-estadisticas/datos-utiles-de-aeropuertos/> [Accessed 28 Jul. 2017].
- [7] Afac.org.ar. (2017). AFAC :. [online] Available at: <http://www.afac.org.ar/> [Accessed 4 Aug. 2017].