

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL APOORTE CONTAMINANTE POR OPERACIONES DE LOS GSE EN LOS AEROPUERTOS SABA Y SAEZ

LUCAS SZNAJDERMAN^{1,2}; JUAN IGNACIO D'LORIO¹; MATÍAS COPPA¹; ALEJANDRO DI BERNARDI¹; RODRIGO GUSTAVO ALONSO³

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

³Departamento de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Ciudad Universitaria, 28040, Madrid

RESUMEN

Además de considerar las emisiones derivadas de la operación de las aeronaves en los aeropuertos, se deben tener en cuenta aquellas debido a la operación de los vehículos de apoyo en tierra, denominados GSE (Ground Support Equipment), asociados al transporte de pasajeros desde las terminales a las aeronaves y viceversa, a los procesos de carga y descarga de mercancías y equipajes, entre otros tantos servicios.

El objetivo principal del presente es comparar las emisiones gaseosas de los vehículos en los aeropuertos bajo estudio, según las operaciones correspondientes para el día seleccionado.

Para efectuar el análisis del aporte de los GSE, se debe caracterizar el tráfico de cada aeropuerto para lo cual se analiza el día promedio del mes pico, determinando un perfil diario de operación, y con ello los valores del aporte contaminante mediante el software AEDT 2b.

Por otra parte, como complemento de lo anterior se busca determinar el peso relativo del aporte contaminante de los GSE respecto a las emisiones generadas por la operación de las aeronaves en la parte aeronáutica del aeropuerto. Para lo cual se analizan los ciclos LTO correspondientes.

El presente estudio se encuentra encolumnado con los objetivos del Comité de Protección Ambiental Aeronáutica (CAEP).

SUMMARY

In addition to the emissions from the operation of aircraft at airports, those due to the operation of ground support vehicles, called GSE (Ground Support Equipment), associated with the transportation of passengers from the terminals to the aircraft, to the processes of loading and unloading merchandise and luggage, among other services, have to be considered.

The main objective of this paper is to compare the gaseous emissions of the vehicles in the selected airports, according to the operations of a specified day.

In order to perform the analysis of the GSE contribution, the traffic of each airport must be characterize: the average day of the peak month is analyzed then, determining a daily operating profile, and after that, the values of the pollutant contribution are determined using AEDT 2b.

On the other hand, as a complement, the relative weight of the pollutant contribution of the GSE vs. those generated by the operation (LTO cycle) of the aircraft is determined.

The present study is in line with the objectives of the Aeronautical Environmental Protection Committee (CAEP).

Palabras claves: vehículos de apoyo, contaminación, aeropuerto, operaciones

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. Respecto al tráfico internacional de pasajeros, se estima un aumento del 5,1% anual, mientras que el tráfico doméstico crecerá 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 5.3% de 2010 a 2030, incrementado de 200 billones de Revenue Passenger Kilometres (RPK) en 2010, a 562 billones en 2030. A modo de comparación, se observan los datos más recientes (2015) en donde Boeing, Airbus y Embraer, tienen una tasa media anual de crecimiento de 20 años (2014-2034) de 4,9%, 4,6% y 4,9% respectivamente. [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 a contaminación acústica y gaseosa permite una menor afectación tanto en el desarrollo urbano y como aeroportuario. Instituciones nacionales e internacionales han puesto en evidencia la preocupación actual que existe por la identificación y cuantificación de las emisiones gaseosas a través de distintos indicadores que ayudan en la toma de decisiones de medidas mitigadoras.

La contaminación gaseosa producto del uso de vehículos impulsados por motores de combustión interna es un tema de preocupación mundial en la actualidad. En las instalaciones aeroportuarias se produce una gran actividad diariamente, desde la realizada por las aeronaves, a aquellas destinadas a dar asistencia a pasajeros, mercancías y aeronaves en tierra (vehículos handling). Por lo que 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, 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 (llamados Ground Service Equipment-GSE).

El handling engloba entre sus operaciones el transporte de pasajeros desde las terminales a las aeronaves y viceversa, los procesos de carga y descarga de mercancías y equipajes, el suministro de energía y combustible a la aeronave, transporte de tripulaciones, así como todas las maniobras que deben realizarse para situar al avión en posición para efectuar el despegue o el inicio de la rodadura según el caso.

Como se mencionó previamente, las emisiones debido a los movimientos de las aeronaves representan el mayor porcentaje, pero en la actualidad no se han publicado estudios específicos que caractericen y cuantifiquen el porcentaje de los distintos gases contaminantes respecto a las posibles fuentes en un aeropuerto. Se presenta a continuación una clasificación de las fuentes respecto a emisiones producto de la actividad aeroportuarias:

| Aeronaves, % | GSE/APU, % | Accesos, % | Estacionamiento, % | Fuentes estacionarias y extinción de incendios, % |
|--------------|------------|------------|--------------------|---|
| 59.09 | 25.57 | 5.43 | 4.08 | 5.83 |

Tabla 1. Porcentaje de emisión global de contaminantes según fuente de emisión, [3]

De forma esquemática se presenta a continuación las distintas fuentes de emisiones gaseosas en un aeropuerto



Figura 1. Fuente típicas de emisiones en un aeropuerto

Los vehículos de asistencia (GSE) incluyen todos los equipos de servicio en tierra y los vehículos asociados con los movimientos de la aeronave en la plataforma [4]. Cada uno de estos vehículos poseen distintos tiempos de operación que, debido a su función, no todos los procesos pueden realizarse simultáneamente. [5]

El tipo de GSE varía según la aplicación en función de su operación. Por ejemplo, algunos son requeridos para brindar servicio a la aeronave luego del aterrizaje, otros para el despegue, otros para brindar servicio a los pasajeros y otros para las operaciones de carga y descarga. En concordancia con ello y a los efectos de disponer de valores de referencia se presenta a continuación una tabla descriptiva:

| GSE | Función | Tipo de motor, kw | Servicio, min |
|-------------------------|--|-------------------|-----------------------------|
| Tractor de empuje | Empuje de aeronaves | 95-400 | 5-10 |
| Rampa de acceso | Provee acceso | 30-65 | 2-10 |
| Cinta de carga | Transfiere carga | 30 | 10-50 |
| Carga | Levanta carga pesada | 60 | 10-50 |
| Delivery de carga | Transferencia de carga | 30 | 10-50 |
| Catering y servicios | Limpieza y almacenamiento de comida | 85-130 | 10-30 |
| Lavatorio, agua potable | Almacenamiento de agua y limpieza de baños | 120 | 5-20 |
| Colectivo de pasajeros | Transporte de pasajeros | 100 | Depende del tiempo y agenda |
| GPU | Unidad de Potencia en Tierra | 150 | 30-60 |
| Camión de combustible | Transferencia de combustible | 200 | 10-40 |

Tabla 2. Caracterización de los principales GSE, funciones, tipo de motor y tiempo de servicio. [5]

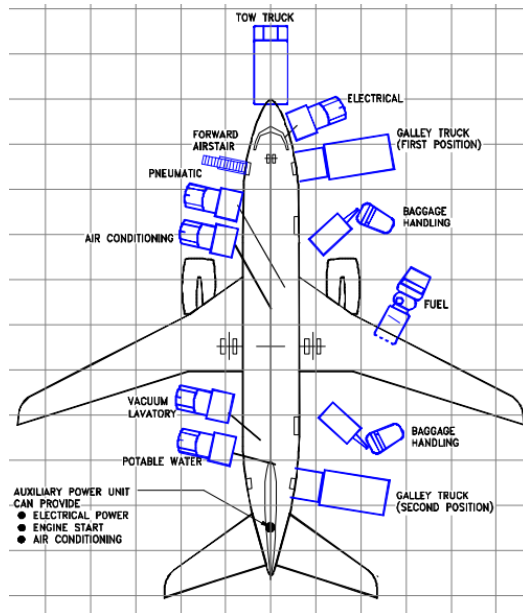


Figura 2. Posicionamiento típico de los vehículos GSE de un Boeing 737 [6].

El uso de combustibles alternativos y energía eléctrica para la reducción de emisiones ha surgido como la mejor opción ante el combustible convencional. Actualmente, los primeros combustibles alternativos conocidos que utilizan estos vehículos son el gas natural comprimido (GNC), petróleo gas licuado (PGL), etanol y biodiesel. La principal reducción con combustibles alternativos es sobre los gases CO y Material Particulado [7]. Idealmente, la utilización de energía eléctrica es la que brinda una reducción neta en la contaminación gaseosa, sin embargo, para proveer de dicha energía a todos los vehículos, es necesario contar con el suministro necesario, dependiendo ello de los organismos proveedores de electricidad de las localidades en donde se encuentran los aeropuertos bajo análisis.

METODOLOGÍA

A continuación, se detalla el proceso para el cálculo de las emisiones gaseosas derivadas de las operaciones de las aeronaves y de los respectivos GSE para los aeropuertos de Ezeiza y Aeroparque:

- Identificación de los meses picos del Aeropuerto de Ezeiza y Aeroparque respectivamente y sus mezclas de tráfico operativas,
- Análisis de herramientas de cálculo a utilizar,
- Identificación del ADPM (Average Day Peak Month) para cada aeropuerto,
- Caracterización del flujo de movimientos diario y la hora pico en ambos días,
- Determinación de perfiles de servicio típico según aeronave. Análisis de todos los vehículos handling soporte de cada avión (tiempos de servicio, potencia de motores, factores de carga, entre otros factores considerados),
- Cálculos con los distintos software y bases de datos del aporte contaminante de estos vehículos y el de las aeronaves correspondientes para cada movimiento, y
- Elaboración de tablas comparativas de la contaminación provocadas por aeronaves para un ciclo LTO y por los GSE asociados para cada aeropuerto.

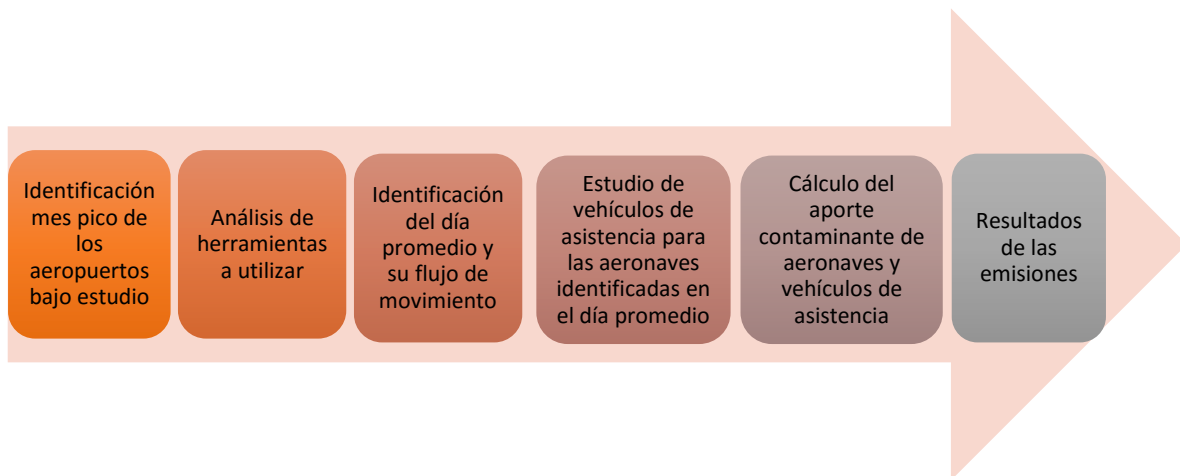


Figura 3. Proceso lógico de trabajo para determinar la contaminación gaseosa

Para las emisiones provocadas por los vehículos de asistencia, se utilizaron los datos estándar de servicio de cada vehículo por cada aeronave, sin tener en cuenta los tiempos y recorridos asociados hasta llegar al objetivo ni tiempos de conexión y desconexión.

AEROPUERTOS DE REFERENCIA

Actualmente las operaciones en el aeropuerto de Ezeiza presentan una distribución de aproximadamente 80% de operaciones internacionales y 20% de operaciones de cabotaje. Inversamente es lo que ocurre en Aeroparque, y hasta se prevee que en el año 2018 todos los vuelos serán de cabotaje, implicando así una flota de aeronaves de menor tamaño.

| | Ezeiza | Aeroparque |
|---|---------------|-------------------|
| Clave de referencia | 4F | 4C |
| Operaciones aéreas anuales | 66.834 | 120.492 |
| Movimiento de pasajeros total anual | 9.127.908 | 10.825.986 |
| Movimientos en sus respectivos días promedio del mes pico | 182 | 152 |

Tabla 3. Características generales de los Aeropuertos en el 2015.



Figura 4. Vista aérea del aeropuerto de Ezeiza y su plataforma aerocomercial de pasajeros

| Aeropuertos | Movimientos | % |
|--------------------|--------------------|----------|
| SAEZ | 182 | 54% |
| SABE | 152 | 46% |



Figura 5. Vista aérea del Aeroparque Jorge Newbery y su plataforma aerocomercial de pasajeros

Análisis del tráfico aéreo en los aeropuertos

Existen dos distintos métodos para identificar los días promedios para el mes pico, en el presente estudio analizaremos los métodos IATA y ADPM (FAA). El primero identifica a la jornada como el segundo día de mayor tráfico de aquella semana con menor diferencia a la semana promedio del mes pico.

El segundo método identifica al día pico relacionándolo con la menor diferencia con el promedio de los movimientos totales.

En este trabajo, se analizará el día de mayores movimientos totales entre ambos métodos de cada aeropuerto

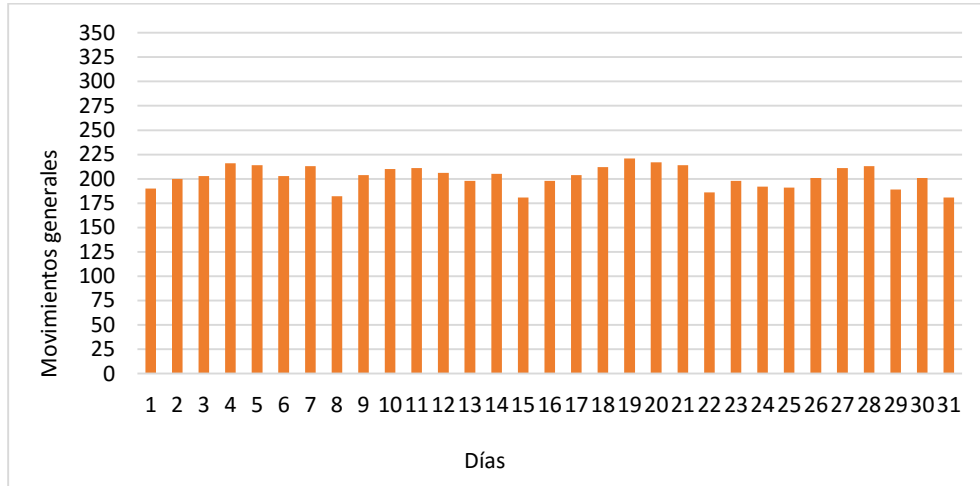


Figura 6 Distribución de los movimientos totales en Ezeiza en el mes de diciembre de 2015

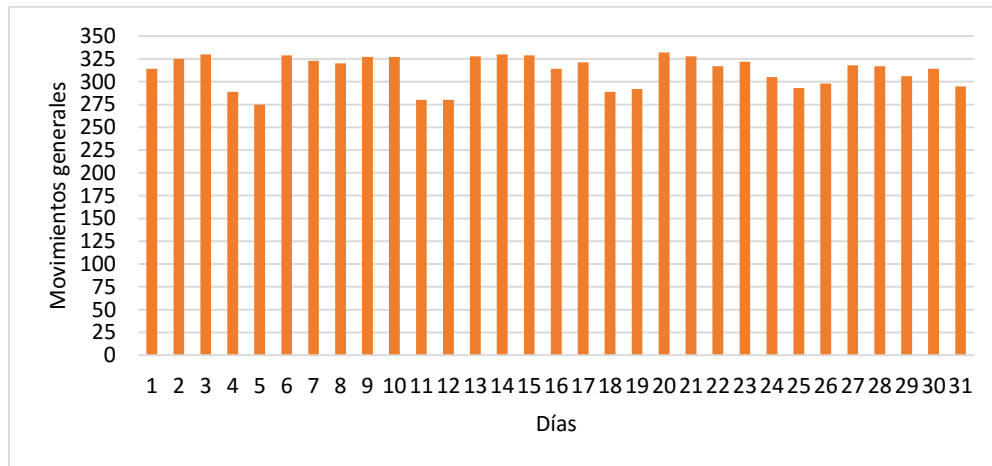


Figura 7 Distribución de los movimientos totales en Aeroparque en el mes de julio de 2015

| Aeroparque | | | Ezeiza | | |
|------------|-------|---------------------|--------|-------|---------------------|
| Método | Fecha | Movimientos totales | Método | Fecha | Movimientos totales |
| IATA | 15/7 | 329 | IATA | 11/12 | 211 |
| ADPM | 30/7 | 314 | ADPM | 6/12 | 203 |

Tabla 4. Resumen de movimientos en los aeropuertos analizados.

Como se observa, en el mes de Julio de 2015 en Aeroparque, se optará por utilizar el método IATA dado que cuantifica una mayor cantidad de movimientos totales en comparación al método ADPM.

Movimientos de las aeronaves en el día promedio

Para las simulaciones se utilizaron los siguientes movimientos para los aeropuertos de Ezeiza y Aeroparque en el día promedio identificado en la sección anterior:

| Ezeiza | | |
|--------------|-------------|----------------|
| Aeronave | Movimientos | Motor |
| A319 | 11 | CFM56-5B9 |
| A320 | 27 | CFM56-5B4 |
| A321 | 2 | V2530-A5 |
| A330 | 12 | GE CF6-80 E1A2 |
| A340 | 12 | CFM56-5C2 |
| B737 800 | 57 | CFM56-7B26 |
| B747 | 4 | JT9D-7QN |
| B767 300 | 11 | PW4060 |
| B777 200/300 | 28 | GE90-90B |
| E190 | 24 | CF34-8E5 |

Tabla 5. Aeronaves y movimientos para el día promedio en Ezeiza con sus respectivos motores

| Aeroparque | | |
|------------|-------------|----------------|
| Aeronave | Movimientos | Motor |
| A320 | 32 | V2530-A5 |
| B737 800W | 28 | CFM56-5B4 |
| E190 | 54 | CFM56-5B9 |
| B737 700 | 39 | GE CF6-80 E1A2 |

Tabla 6. Aeronaves y movimientos para el día promedio en Aeroparque con sus respectivos motores

Ciclo Landing Take Off (LTO)

Para la determinación del impacto ambiental en el entorno aeroportuario, OACI ha estandarizado los tiempos de operación de las aeronaves comerciales en la aproximación al aeropuerto, el taxeo y el despegue. A partir de dichos tiempos estandarizados, organismos internacionales como OACI, IPCC, y la Environmental European Agency (EEA), entre otros, calculan el aporte de emisiones gaseosas en el entorno aeroportuario, por lo que el cálculo y análisis de dichos tiempos brindarán la diferencia relativa del impacto ambiental en cada aeropuerto y en la región bajo estudio.

Estos tiempos estandarizados por la OACI son definidos de la siguiente manera:

- **Landing:** son todas aquellas 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:** son las maniobras que realiza el avión hasta llegar a su puesto de estacionamiento en plataforma en condición de BlockOn (calzos colocados) y las maniobras que realiza el avión desde el BlockOff (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.

- Climb out: son las operaciones que realiza el avión hasta alcanzar los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto

| Etapa | Duración, min | Porcentaje de potencia, % |
|-----------|---------------|---------------------------|
| Approach | 4 | 30 |
| Taxing | 26 | 7 |
| Take-off | 0.7 | 100 |
| Climb out | 2.2 | 85 |

Tabla 7. Tiempo y potencia asociada a cada etapa del ciclo LTO

Establecidos los días bajo estudio, las aeronaves y sus vehículos de asistencia, se realizaron los cálculos mediante el siguiente software:

- Aviation Environmental Design Tool (AEDT Versión 2c, FAA): es un software que modela el rendimiento de la aeronave y sus vehículos de asistencia en el espacio y tiempo para estimar el consumo de combustible, emisiones, ruido, y las consecuencias de calidad del aire.

RESULTADOS

| Aeronaves | CO, kg | NO _x , kg |
|-----------------|--------|----------------------|
| Airbus 319 | 73 | 88 |
| Airbus 320 | 256 | 500 |
| Airbus 321 | 32 | 1 |
| Airbus 330 | 380 | 179 |
| Airbus 340 | 319 | 143 |
| Boeing 737-800W | 571 | 1.867 |
| Boeing 747-700 | 198 | 81 |
| Boeing 767-300 | 310 | 52 |
| Boeing 777-200 | 1.246 | 193 |
| Embraer 190 | 107 | 101 |

Tabla 8. Tabla cuantificativa de las emisiones de CO y NO_x según todos los ciclos LTO de cada aeronave en el día promedio del mes pico en SAEZ

| Aeronaves | CO, kg | NO _x , kg |
|-----------------|--------|----------------------|
| Airbus 320 | 303 | 592 |
| Boeing 737-800W | 275 | 900 |
| Boeing 737-700 | 390 | 1.277 |
| Embraer 190 | 237 | 224 |

Tabla 9. Tabla cuantificativa de las emisiones de CO y NO_x según todos los ciclos LTO de cada aeronave en el día promedio del mes pico en SABE

En cuanto a las emisiones producto de los vehículos de servicio a la aeronave, se presenta la siguiente tabla que resume cuantitativamente y compara los aeropuertos bajo estudio.

| Aeroparque | | | Ezeiza | | |
|------------------|---------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| GSE por aeronave | Total | | GSE por aeronave | Total | |
| | CO (kg) | NO _x (kg) | | CO (kg) | NO _x (kg) |
| E190 | 133,20 | 16,28 | E190 | 59,75 | 7,30 |
| B737-800W | 64,47 | 29,51 | B737-800 | 56,27 | 25,75 |
| A320 | 304,90 | 40,80 | A320 | 228,67 | 30,60 |
| B737-700 | 91,43 | 41,85 | B777 200 | 64,03 | 40,42 |
| | | | A340 | 64,03 | 40,42 |
| | | | A330 | 63,82 | 40,06 |
| | | | A321 | 228,52 | 30,33 |
| | | | A319 | 229,77 | 32,50 |
| | | | B747 700 | 64,03 | 40,42 |
| | | | B767 300 | 64,03 | 40,42 |
| Total | 594,00 | 128,00 | | 1.122,00 | 328,00 |

Tabla 10. Emisiones de los GSE para cada aeronave en los aeropuertos

| Emisiones | SABE | SAEZ | SABE, % | SAEZ, % | Total |
|----------------------|------|-------|---------|---------|-------|
| CO [kg] | 594 | 1.122 | 30 | 70 | 846 |
| NO _x [kg] | 128 | 328 | 35 | 65 | 1716 |

Tabla 11. Emisiones de los GSE

| Emisiones totales | | | | |
|-------------------|--------|-------|----------------------|-------|
| | CO, kg | | NO _x , kg | |
| | SAEZ | SABE | SAEZ | SABE |
| GSE | 1.122 | 594 | 328 | 128 |
| AERONAVES | 3.181 | 1.206 | 3.151 | 2.995 |

Tabla 12. Emisiones totales de los GSE y aeronaves, en Ezeiza y Aeroparque

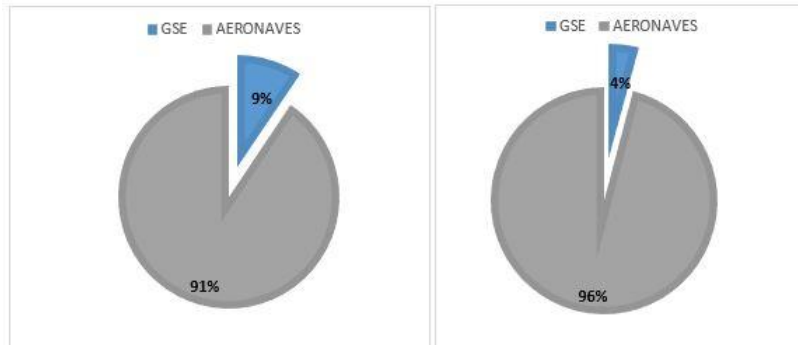


Figura 8. Izq: Emisiones de NOx en Ezeiza Der.: Emisiones de NOx en Aeroparque.

A continuación, se muestran dos tablas comparativas que indican las emisiones del conjunto de todos los GSE para cada aeronave en particular de cada aeropuerto.

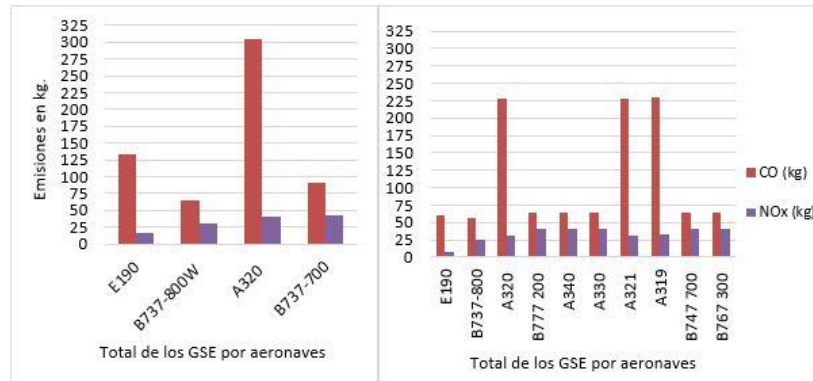


Figura 9. Izq: emisiones en Aeroparque producto de los GSE. Der. Emisiones en Ezeiza

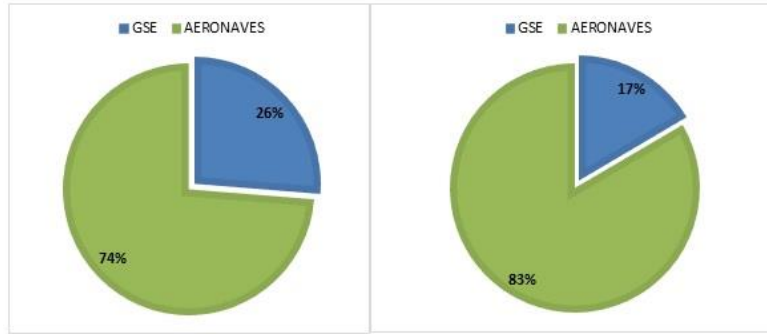


Figura 10. Izq: Emisiones de CO en Ezeiza. Der.: Emisiones de CO en Aeroparque

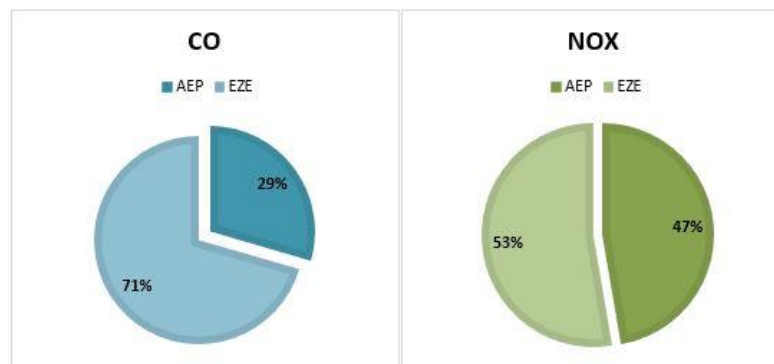


Figura 11. Porcentaje de las emisiones totales (GSE y aeronaves) para cada aeropuerto según contaminante en el día promedio del mes pico

CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado, comparando las emisiones de los GSE con las producidas por las operaciones de las aeronaves, se observa que el porcentaje del CO es de 26% en Ezeiza y 17% en Aeroparque, cifras esperables y comparables entre sí. En cuanto al NOx alcanza el 9% en Ezeiza y 4% en Aeroparque, estableciéndose una tendencia y valores similares de los aportes contaminantes en ambos aeropuertos.

En cuanto a la comparación de las emisiones de CO y NOx de los GSE para el día promedio del mes pico en ambos aeropuertos, se observa que en Aeroparque se emite un 17% de CO y 4% de NOx, mientras que en Ezeiza se emite aún más, 26% de CO y 9% de NOx, producto a la cantidad de movimientos en ambos aeropuertos: 152 movimientos en Aeroparque y 182 en Ezeiza.

Con referencia a las figuras que comparan las emisiones del CO y NOx para cada aeropuerto, se puede concluir que el primero es altamente superior en Ezeiza con un 71% mientras que en el segundo, las cantidades emitidas por los aeropuertos son similares entre sí. Con ello, se entiende la superioridad de las emisiones en Ezeiza frente a Aeroparque netamente producto de la cantidad y tipo de operaciones.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos no tienen en cuenta las emisiones producto del tiempo y distancias en traslado y posicionamiento de los GSE dentro de la plataforma, por lo que a partir de los próximos estudios se espera que el porcentaje relativo de aporte de los GSE aumente de forma considerable dependiendo del aeropuerto analizado.

Para lograr una caracterización completa de los gases contaminantes producto de la actividad aeroportuaria este tipo de estudio debe ser complementado con el análisis de las emisiones de las otras fuentes presentes en un aeropuerto: parte pública, fuentes puntuales, Ground Access Vehicles (GVA), entre otros tantos.

REFERENCIAS

- [1] International Civil Aviation Organization, "Global Air Navigation Plan Fourth Edition," pp. 1–128, 2013.
- [2] Environmental Branch of ICAO, "ICAO Environmental Report 2016, aviation and climate change," Environ. Rep. 2016, p. 250, 2016.
- [3] S. O. Alba and M. Manana, "Energy research in airports: A review," *Energies*, vol. 9, no. 5, pp. 1–19, 2016.
- [4] Eurocontrol Experimental Centre, "Airport Local Air Quality Studies," vol. 2.1, p. 34, 2005.
- [5] T. Horstmeier and F. De Haan, "Influence of ground handling on turn round time of new large aircraft," *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 73, no. 3, pp. 266–271, 2001.
- [6] Boeing Commercial, "Airplane Characteristics for Airport Planning 747-800." p. 132, 2012.
- [7] A. C. R. Program, REPORT 149 Improving Ground Support Equipment Operational Data for Airport Emissions Modeling. 2015.