



CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE LOS GSE SEGÚN OPERACIÓN DE AERONAVES BAJO MODALIDAD LCC Y TRADICIONAL

Introducción

El transporte aéreo desempeña un papel importante en el desarrollo económico y social sostenible en el mundo. [1] pronostica un aumento de pasajeros del doble de la actualidad para el año 2037, es decir 8.200 millones. Además revela que, en las próximas dos décadas, el sector crecerá a una tasa anual del 3,5%, generando así hasta 100 millones de empleos en todo el mundo. En particular, en Latinoamérica el documento estima un crecimiento del 3,6% alcanzando 731 millones de pasajeros.

Como sostiene Lee en [2], el volumen de pasajeros transportados por una aerolínea ha seguido creciendo fuertemente a una tasa promedio del 5,2% anual durante el período 1992-2005. Los fabricantes de aviones predicen que la flota puede casi duplicarse con respecto a los 20.500 aviones en 2006, a 40.500 aviones en 2026. 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 crecería a un ritmo más lento del 4,4% (período 2010-2030). 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 [3]. En particular, la modalidad LCC ha notado un crecimiento similar a la tasa de aviación general de 5% anual apareciendo como un nuevo mercado de interés [4].

Por su parte, la industria de la aviación comprende aerolíneas y otros servicios relacionados con la aviación como aeropuertos, fabricantes de aviones y proveedores de servicios de navegación aérea. Tal como señala el reporte de IATA [5], en 2009, estas se comprometieron a un enfoque unido para reducir las emisiones que abarca tres objetivos: 1. Mejorar la eficiencia del combustible en un promedio de 1.5% anual al 2020. 2. Limitar las emisiones netas mediante un crecimiento sin emisiones de carbono desde 2020 (CNG2020) 3. Recortar dichas emisiones reducirán a la mitad en 2050, en comparación con 2005. Además, en su último reporte [6] destaca que en el año 2017 viajaron 4,1 billones de personas, donde las tarifas aéreas en términos reales promediaron menos de la mitad de lo que eran en 1995, por lo tanto, la red se ha expandido hasta superar 20,000 ciudades origen destino.

En relación al crecimiento observado de la aviación *bajo costo* (LCC Low Cost Carrier), [6] señala que en 2017, el modelo de larga distancia y bajo costo (LHLC) continuó cobrando impulso, siguiendo con prácticas que antes se pensaban ser parte del modelo de *servicio tradicional* (FSC- Full Service Carrier): el uso de sistemas de distribución global; de programas de viajeros frecuentes; y del tráfico de conexión o escala, incluidos los servicios LHLC de otras aerolíneas.

La consecuencia directa del mencionado crecimiento 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. 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. Tal es la gravedad, que [7] atribuye 8000 muertes prematuras anuales debido a las emisiones generadas por el vuelo de las aeronaves.

Se observa por lo tanto un crecimiento por la preocupación de la salud producto de las emisiones generadas en los aeropuertos. [8] afirma que tanto los motores principales de las aeronaves como las APU (unidades de potencia auxiliar) y GSE (llamados Ground Support Equipment) son las fuentes más importantes de emisiones contaminantes del aire en un aeropuerto. Estudios en los aeropuertos de Copenhague, Heathrow, Brisbane, San Diego, indican que la incidencia de las emisiones de NOx



generadas por los GSE, APU y Motores principales varían con un rango entre 5 a 9%, 2 a 9% y 87 a 93% respectivamente, considerando al aeropuerto en su totalidad. Mientras que también realiza, a nivel general del área de movimientos y a nivel del interior de la plataforma, un inventario de emisiones del aeropuerto de Copenhague (CPH), donde detalla la contribución de los motores principales, APU y GSE. Considerando únicamente el subsistema de plataformas, los GSE contribuyen con 63% de las emisiones de NO_x , el 75% de Material Particulado (PM) y el 24% del consumo de combustible. Lo cual evidencia que el modo de operación de la plataforma (aeronaves-GSE) y la política de uso y asignación de puestos, a partir de su consideración conjunta, son susceptibles de presentar puntos de optimización de la dimensión operacional y ambiental. [9] analiza el impacto de las distintas fuentes en los aeropuertos del Reino Unido, y concluye que las aeronaves son las principales fuentes en relación al PM aportando un %47, mientras que los GSE emiten más del %66 de los gases relacionados a los OC (carbonos orgánicos) y además son responsables del 28% del total del material particulado emitido.

Estudios como [10] señalan de la importancia de las emisiones correspondientes a los GSE en el entorno aeroportuario, alcanzando un 5% en comparación con todas las fuentes (incluyendo el ciclo LTO) respecto al NO_x , pese a no tener en cuenta la contribución por la circulación de dichos vehículos en plataforma. A su vez, [11] afirma que los motores diésel en plataforma son la fuente de emisión que más contribuye a la contaminación atmosférica, ya que emiten NO_x y partículas finas. Continuando con la misma línea, reportes como el de [12] indican que las emisiones de las aeronaves tanto para el NO_x como para los HC predominan en comparación con los APU y GSE analizados, generando entre un 80 y 90% para los aeropuertos estudiados.

El presente se centra en cuantificar la mínima cantidad de vehículos necesarios y su aporte contaminante según las operaciones efectuadas por las aeronaves debido al servicio y a la circulación en plataforma. En este sentido se han planteado tres configuraciones fijando la cantidad de operaciones: con 100% FSC, 100% LCC y 50-50% FSC-LCC.

Tal como afirma [13], la mayoría de los GSE suelen estar asociados con el servicio de la aeronave durante el proceso de cambio del aeropuerto que consiste en las operaciones en tierra que se realizan desde el momento en que los bloques de goma (calzos) se colocan delante de las ruedas de la aeronave hasta el momento en que se retiran los bloques y la aeronave. Durante este período, hay una serie de tareas que se realizan, incluyendo la carga y descarga de pasajeros y equipaje, limpieza y mantenimiento de aeronaves, reabastecimiento y reposición de provisiones, y otros servicios similares. Otras funciones GSE comunes se refieren al servicio y mantenimiento de la infraestructura del lado aéreo y del aeródromo.



Figura 1 Fuente típicas de emisiones en un aeropuerto



Por su parte, los vehículos requeridos para operaciones LCC son mínimos debido al menor requerimiento que, en este estudio, se idealiza y propone la menor cantidad de GSE a fin de observar las diferencias tanto de las emisiones como de la cantidad de vehículos mínimos necesarios. La velocidad, la eficiencia y la precisión son importantes en las operaciones de los GSE para minimizar los tiempos y costos. Básicamente, estas actividades dependen en gran medida del modelo y estrategia de negocios favorecidos por las aerolíneas. En contraste con las aerolíneas tradicionales, los LCC utilizan operaciones más simples y optimizadas. Esto conduce a tiempos reducidos, a un uso más eficiente de la flota de aeronaves y, por lo tanto, a un aumento de millas de pasajeros [4].

En su publicación [14], menciona las principales características que los vehículos LCC podrían tener con el objetivo de eficientizar tiempos y costos, como la aproximación de los puestos de estacionamiento con la terminal y paralelo a la misma para tener autonomía; utilización de escaleras propias de las aeronaves; no requerir de servicios de limpieza, agua ni catering; y disponer del llenado de combustible siempre y cuando sea necesario.



Figura 2 Mapeo de las emisiones en plataforma rectangular

A continuación, se presentan la cantidad de vehículos requeridos según operación tradicional (origen-destino FSC) y LCC para aeronaves de fuselaje angosto como el A320 o E190 con 100% de capacidad completo:

Tabla 1 Cantidad de vehículos requeridos según operación

Operación	TUG	GPU	Equipaje	Cinta	Bus MR	Bus	Limpieza	Combustible	Agua	Escalera	Catering
Codificación	TUG	GPU	BAG	BEL	BRE	BUS	CLE	FUE	WAT	STA	CAT
FSC	1	1	2	2	1	3	1	1	1	2	1
LCC	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0

Metodología

A continuación, se detalla el proceso para el desarrollo del modelo integrador que cuantifica la cantidad de vehículos de asistencia necesarios para los movimientos asignados según el tipo de operación y además cuantifica las emisiones de los gases primarios: CO, NO_x, SO_x, HC y PM10 para una plataforma rectangular de los GSE:

- Selección del día de estudio mediante criterio IATA para establecer así la mezcla de tráfico a utilizar, con sus respectivos horarios de arribo y salida,
- Distribución de la mezcla seleccionada en los puestos de estacionamiento,



- Determinación de perfiles de servicio según aeronave para las modalidades estudiadas: FSC y LCC. Análisis de todos los GSE (tiempos de servicio, potencia de motores, factores de carga, entre otros factores considerados), cantidad e identificación para operación correspondiente,
- Procesamiento de los datos en el modelo desarrollado, y
- Resultados, valores de emisión según los gases analizados para la circulación, servicio y cuantificación de los mínimos GSE requeridos para la demanda según la distribución de la modalidad planteada

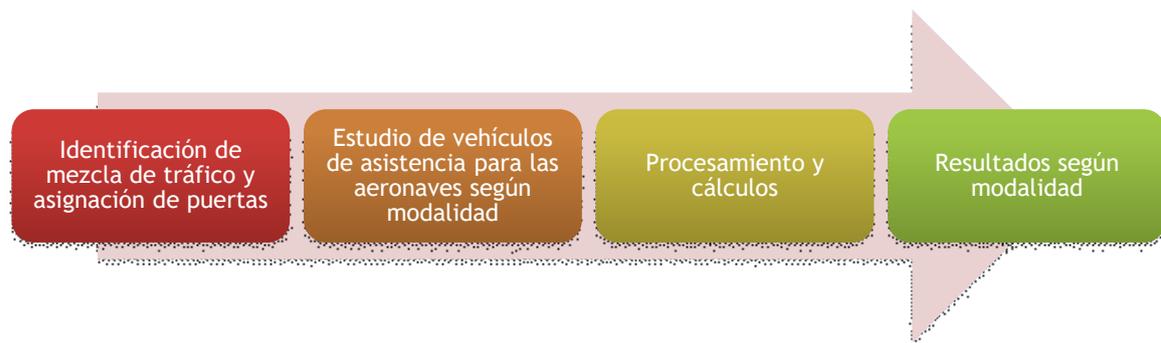


Figura 3 Proceso lógico de trabajo para determinar la contaminación gaseosa y cantidad de vehículos requeridos

El esquema dispone de un orden para cuantificar las emisiones de los GSE que básicamente corresponden a los dos estados propuestos: *servicio* y *circulación*. Para el primero, a partir del modelo sofisticado para el cálculo de las emisiones brindado por la OACI, el presente considera un ajuste debido a la discretización en los procesos de descarga y carga a las aeronaves en los factores de carga y los tiempos según la etapa correspondiente (espera, conexión, servicio y desconexión). Dicha discretización utiliza tiempos observados y asigna factores de carga determinados por la acción de cada vehículo con el objetivo de precisar los valores a una aproximación real.

Se presenta entonces el modelo ajustado correspondiente a las emisiones por servicio de los GSE, donde se propone la discretización en las etapas de espera, conexión, servicio y descarga tanto para la descarga como para la carga de la aeronave:

$$E_{i,l} = P_l \cdot FE_{i,l} \cdot f_{d_t} \cdot \sum_{j=1}^8 (f_{c_j} \cdot t_j)_i \quad \text{Ec. 1}$$

A su vez, de manera análoga, se presenta la expresión general para el cálculo de emisiones producto de la circulación, que corresponden a una plataforma tipo de 1600m x 160m, con una velocidad promedio asignada a los vehículos de 20km/hs.

$$E_{i,l} = P_l \cdot FE_{i,l} \cdot f_{c_l} \cdot f_{d_l} \cdot \frac{1}{vel_l} \cdot d_l \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde,

$E_{i,l}$: Emisión gaseosa del contaminante 'i', respecto del equipo GSE 'l'. [g]

P_l : Potencia al freno del equipo GSE 'l', [HP]

$FE_{i,l}$: Factor de emisión del contaminante 'i', respecto del equipo GSE 'l', $\left[\frac{g}{HP \cdot h}\right]$

f_{c_l} : Factor de carga del equipo GSE 'l'

f_{d_l} : Factor de deterioro del equipo GSE 'l'

vel_l : Velocidad de circulación en plataforma del equipo GSE 'l', $\left[\frac{km}{h}\right]$.

d_l : distancia de traslado del equipo 'l', [km].

f_{c_j} : Factor de carga del equipo GSE por cada tiempo discretizado 'j', según operación de carga y descarga



f_{d_l} : Factor de deterioro del equipo GSE 'l'

t_j : Tiempos discretizados de los GSE para la carga y descarga, [h].

Los factores de carga son aquellos que afectan la potencia máxima, obtenidos y ajustados en función del relevamiento en campo, la bibliografía de referencia y promediando los valores para los modelos observados según grupo de GSE. A continuación, se puede observar los valores adoptados para el modelo para las operaciones de carga y descarga de equipaje, mercancías y movimiento de pasajeros: dichos factores se han dimensionado en función de las curvas características potencia-RPM, según la motorización de cada vehículo para cada estado operativo. Vale indicar que, para la circulación, se ha considerado un 'FC' considerando a los vehículos en ralentí, es decir, valores de 0,2.

Tabla 2 Promedio de los factores de carga para los GSE según proceso de descarga o carga

GSE	Descarga				Carga			
	espera	conexión	servicio	desconexión	espera	conexión	servicio	desconexión
TUG	0	0	0	0	0,40	0,40	1	0,40
GPU	0	0	0	0	0	0	0,75	0
BAG	0,36	0,36	0,55	0,36	0,36	0,36	0,55	0,36
BEL	0,36	0,36	0,50	0,36	0,36	0,36	0,50	0,36
BRE	0,53	0,53	1	0,53	0,53	0,53	1	0,53
BUS	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
CLE	0	0	0,33	0	0	0	0,33	0
FUE	0	0	0	0	0,25	0,25	0,25	0,25
WAT	0	0	0	0	0,20	0,20	0,20	0,20
STA	0,57	0,57	0	0,57	0,57	0,57	0	0,57
CAT	0	0	0	0	0,53	0,53	1	0,53

Los factores de emisión se obtienen de la base de datos generada por la EPA (United States Environmental Protection Agency) generadas a partir de ensayos en banco de los motores sin horas de uso, a máxima potencia y según tipo de combustible. A continuación, se muestra la tabla con los factores de emisión según gas contaminante para los GSE utilizados.

Tabla 3 Factor de emisiones correspondientes al 2010 según GSE

GSE	FE (gr/HP*hs)				
	CO	HC	NOx	SOx	PM10
TUG	1,503	0,327	4,485	0,054	0,285
GPU	0,961	0,297	4,135	0,054	0,247
BAG	3,873	0,369	4,261	0,060	0,502
BEL	2,553	0,381	4,544	0,060	0,396
BRE	0,110	0,130	2,500	0,221	0,167
BUS	0,110	0,130	2,500	0,221	0,167
CLE	0,654	0,255	2,417	0,048	0,070
FUE	0,614	0,245	2,184	0,048	0,064
WAT	0,804	0,290	2,898	0,049	0,128
STA	0,801	0,289	2,891	0,049	0,128
CAT	0,449	0,203	1,037	0,044	0,066

El factor de deterioro amplifica el valor de las emisiones producto de los años de uso. Para ello, se utilizado la ecuación que propone la EPA [15]:

$$f_d = 1 + A \cdot \left(\frac{GSE_{año}}{GSE_{vida\ útil}} \right)^b \quad \text{Ec. 3}$$

En donde para cada contaminante, se dispone de dos tipos de coeficientes auxiliares para el cálculo de deterioro según su respectivo rango de potencia. Estos coeficientes se encuentran actualizados al año 2010, propuesto para el estudio, con lo que se asume por defecto que los equipos llevan en servicio 9 años; además el factor de deterioro depende del año de servicio y la vida útil promedio del



equipo GSE. Con los respectivos coeficientes, en conjunto con los años de servicio y los años de vida útil de cada equipo, se obtienen los factores de deterioro como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4 Factor de deterioro obtenidos por GSE

GSE	FD				
	CO	HC	NOx	SOx	PM10
TUG	1,086	1,015	1,005	1,000	1,270
GPU	1,120	1,022	1,006	1,000	1,378
BAG	1,092	1,017	1,005	1,000	1,291
BEL	1,109	1,020	1,006	1,000	1,344
BRE	1,100	1,018	1,005	1,000	1,315
BUS	1,100	1,018	1,005	1,000	1,315
CLE	1,120	1,022	1,006	1,000	1,378
FUE	1,086	1,015	1,005	1,000	1,270
WAT	1,120	1,022	1,006	1,000	1,378
STA	1,120	1,022	1,006	1,000	1,378
CAT	1,120	1,022	1,006	1,000	1,378

El tiempo requerido para el servicio de las aeronaves influye directamente en la utilización de las puertas en el aeropuerto y la cantidad de vuelos diarios, y depende en el tipo de aeronave, número de pasajeros, carga y descarga de equipaje [16].

Los tiempos de servicio teóricos asociados a cada aeronave se encuentran en su respectivo Airport Planning Manual. No obstante, tal como se menciona previamente, en el modelo de emisiones propuesto se contempla la caracterización del proceso de asistencia a la aeronave según los tiempos observados en el Aeropuerto Jorge Newberry discretizados en cada estado. Tal como se menciona en la

$$E_{i,l} = P_l \cdot FE_{i,l} \cdot f_{dt} \cdot \sum_{j=1}^8 (fc_j \cdot t_j)_i \quad \text{Ec. 1}$$

se indican en la tabla a continuación.

$$E_{i,l} = P_l \cdot FE_{i,l} \cdot f_{dt} \cdot \sum_{j=1}^8 (fc_j \cdot t_j)_i \quad \text{Ec. 1}$$

Tabla 5 tiempos de cada GSE según discretización propuesta

GSE	tiempos (hs)			
	espera	conexión	servicio	desconexión
TUG	0,006	0,026	0,032	0,005
GPU	0,000	0,006	1,171	0,006
BAG	0,021	0,006	0,053	0,003
BEL	0,027	0,008	0,200	0,031
BRE	0,020	0,031	0,033	0,024
BUS	0,003	0,018	0,031	0,000
CLE	0,000	1,000	2,000	3,000
FUE	0,236	0,021	0,129	0,031
WAT	0,004	0,005	0,014	0,004
STA	0,004	0,018	0,008	0,000
CAT	0,009	0,028	0,075	0,028



Las distancias de traslado dependen fundamentalmente de la configuración geométrica de la plataforma de terminal de pasajeros y de la ubicación de las áreas definidas (puntos ‘base’) para estacionamiento de los equipos GSE por lo que se debe tener en cuenta algunas consideraciones para las distancias recorridas, según el tipo de procedimiento propuesto.

Tabla 6 Tipos de Procedimiento según puestos de estacionamiento de vehículos GSE

Tipos de procedimiento	GSE	Puesto de estacionamiento
A	Cinta transportadora Remolque de aeronaves (TUG) Tractor para GPU Escalera de pasajeros Limpieza aguas residuales Abastecimiento Agua Potable	Ubicados en área de espera (ESA) de acuerdo con sus tiempos de servicio por aeronave [1].
B	Tractor carga de equipaje Bus MR (movilidad reducida) BUS	Área de estacionamiento fija [2].
C	Camión catering Camión cisterna de combustible	Los vehículos de catering se encuentran estacionados fuera de plataforma [3]. El camión cisterna tiene puestos de estacionamientos asignados en la planta de combustible dentro del predio aeroportuario.

[1] La secuencia de circulación en plataforma depende de la disponibilidad de cada grupo vehicular de servicio.

[2] Se elige de tal manera que lo óptimo es que el equipo esté siempre en movimiento entre este punto y cada puesto de estacionamiento de aeronave.

[3] Los vehículos tienen una capacidad de carga mayor, de tal manera que estos salen del puesto de estacionamiento y pueden brindar un servicio a mayor cantidad de aeronaves.

A continuación, se presentan consideraciones para cada procedimiento:

Procedimiento tipo A: De acuerdo con la disponibilidad del equipo se puede simular que se traslada entre puestos de estacionamiento temporales (ESA) dependiendo de la cantidad de puestos de aeronave (Tipo C como se encuentran definidos en la configuración de plataforma) que tienen que recorrer para su siguiente servicio.

Procedimiento tipo B: Este grupo vehicular siempre tienen que volver a un área de operaciones fija definida después de brindar el servicio a la aeronave, por lo tanto, es sencillo calcular su distancia de traslado debido a que el equipo se dirige hacia cada puesto de estacionamiento de aeronaves y vuelve a su área fija definida antes de trasladarse a otra aeronave.

Procedimiento tipo C: Como estos equipos cuentan con un puesto de estacionamiento fijo se puede estimar sus distancias de traslado dependiendo del primer arribo y luego la posibilidad de una secuencia de servicio para tres aeronaves más, aunque depende de la capacidad de carga, antes de volver a su puesto de estacionamiento fijo para reabastecerse o descargar residuos.

Para identificar la cantidad mínima de vehículos, el modelo desarrollado identifica el tiempo de circulación de los vehículos una vez arribada la aeronave y los tiempos de las etapas durante el servicio. Luego aplicado el servicio, la circulación correspondiente será para la aeronave siguiente y así sucesivamente. Por lo tanto, la suma de dichos tiempos indicará si el vehículo está disponible o no para asistir a la siguiente aeronave. Es fundamentalmente importante el desarrollo de dicho modelo que considera aquellos tiempos de circulación, que pueden ser críticos, por ejemplo: el tiempo de traslado a puntos extremos de plataforma desde puestos de estacionamiento fijos o temporales de GSE; o tiempo de traslado para la máxima distancia de traslado por tipo de procedimiento de asistencia. Los resultados generan para cada tipo de servicio, la cantidad mínima de vehículos necesarios para la asistencia de las aeronaves en plataforma en el tiempo bajo estudio.



Plataforma de referencia

La plataforma de Aeroparque corresponde a un aeropuerto representativo en Argentina debido a la cantidad de movimientos diarios, contando con una plataforma tradicional rectangular que al discretizarse en el modelo luego se pueden desarrollar y estudiar plataformas con configuraciones geométricas similares tipo 'I', 'L', 'U', 'C'.



Figura 4 Izq.: Vista aérea del Aeroparque Jorge Newbery y su plataforma aerocomercial de pasajeros estudiada. Der.: Identificación de puestos y ubicación según el mallado propuesto

Mezcla de tráfico analizada

Para el análisis de la mezcla de tráfico se ha identificado el día promedio del mes pico mediante la metodología IATA para el aeropuerto de Aeroparque en el año 2018, resultando ser el 29 de agosto. A continuación, se presenta una tabla que representa la cantidad de movimientos en el día bajo estudio:

Tabla 7 Aeronaves y movimientos (arribos y despegues) para el día promedio analizado

Aeronave	Movimientos
A320	60
B737 800W	126
E190	76
B737 700	42

Resultados

A continuación, se vuelcan los resultados comparativos entre las distintas modalidades propuestas, en donde se puede observar la cantidad de vehículos requeridos para dichas situaciones.

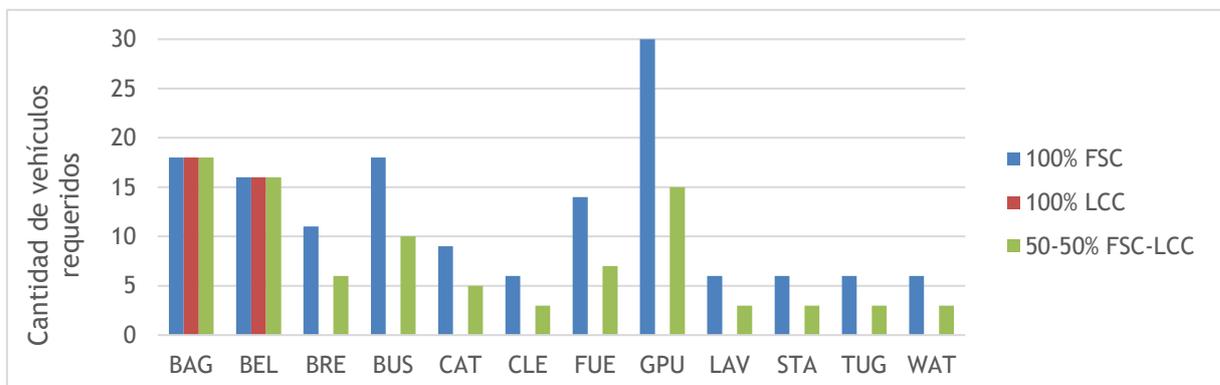


Figura 5 Cantidad de vehículos según operaciones propuestas



Por otra parte, se presentan los resultados que reflejan la cuantificación de las emisiones gaseosas totales según los vehículos requeridos en función de las demandas planteadas. Se puede observar a continuación como los gases CO y NOx son predominantes frente a los otros analizados (en donde se suman entre ellos a fines comparativos con los predominantes).

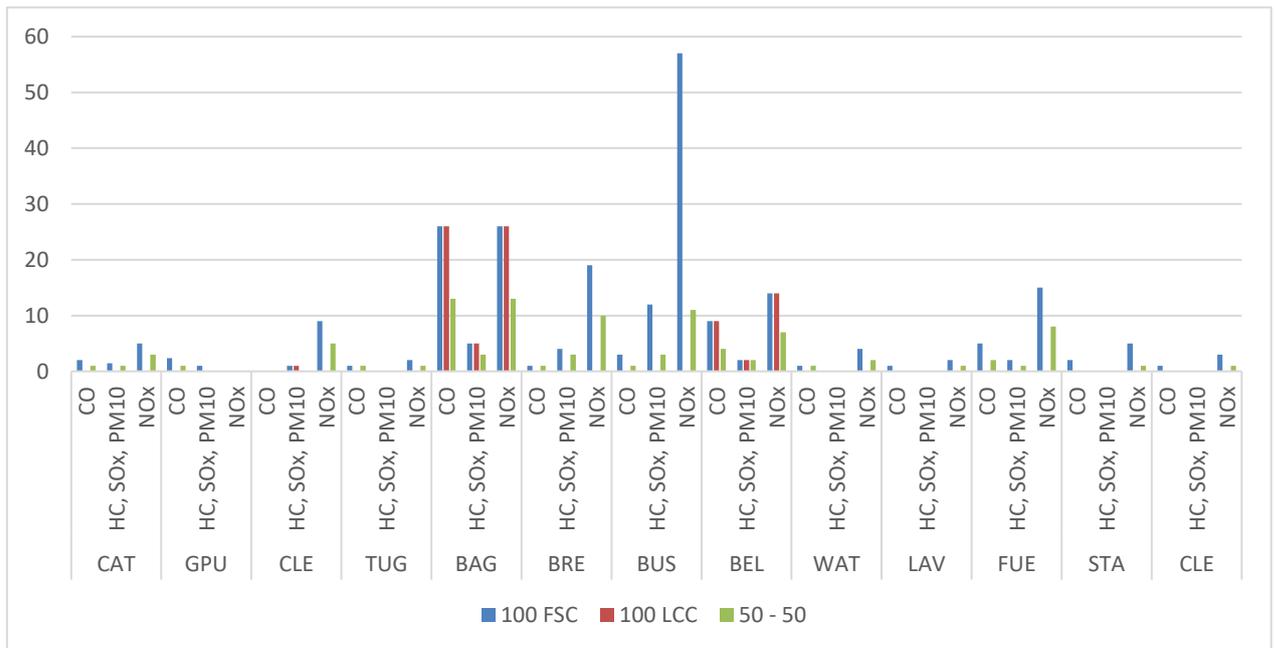


Figura 6 Emisiones en kilogramos según GSE para distintas demandas

En el siguiente gráfico se presenta, el promedio para las operaciones propuestas, la distribución de las emisiones totales, según servicio y circulación.

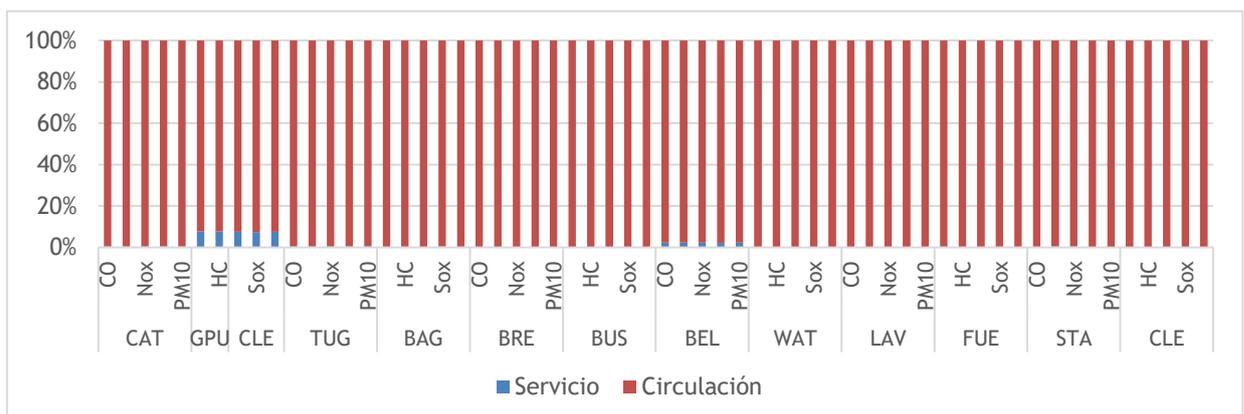


Figura 7 Emisiones generadas por circulación y servicio para diferentes demandas

Conclusiones

De los resultados se puede comparar la cantidad de vehículos requeridos según demanda operativa dentro del aeropuerto, siendo proporcional a esta las emisiones generadas. A su vez, es posible observar que a mayor porcentaje de vuelos FSC, mayor es la cantidad de vehículos requeridos. Esto se debe a la hipótesis planteada en el requerimiento de los GSE según operación. La mayor cantidad de vehículos corresponden a los 'GPU' debido fundamentalmente a su tiempo de servicio y, por otro



lado, se puede observar que se requieren de la misma cantidad de vehículos ‘Bagagge’ y ‘Belt loader’, debido a que son independientes de la demanda. Estas observaciones son importantes a la hora de analizar distintos factores que se deben tener en cuenta en las dimensiones de plataforma, respuesta a la demanda operativa, tiempos de servicio, etc.

Respecto a las emisiones totales, se puede observar que el NOx generado por el ‘Bus’ para la operación 100% FSC se destaca por sobre el resto, duplicando a su vez a quien le sigue: los ‘Bagagge’. En cuanto a la operación 100% LCC se puede observar que, a pesar de tener una menor cantidad de vehículos requeridos, las emisiones generadas por aquellos indispensables como el ‘Bagagge’ y ‘Belt loader’ son realmente importantes, duplicando por ejemplo a los valores de los mismos vehículos en la demanda de 50% FSC-50% LCC.

Además, es importante reconocer que el modelo cuantifica emisiones según servicio por etapas y también por circulación. Por lo tanto se puede, además de sumar la contribución total, comparar ambas e identificar aquella que sea preponderante ante la otra con el objetivo de visualizar aquellos GSE que más emiten contaminantes y durante qué proceso. Por lo tanto, es notorio el peso relativo que tienen las emisiones producto de la circulación en comparación con el servicio, promediando estos el 1% respecto al primero, independientemente de la demanda. Estos resultados implican nuevas líneas de estudio: hasta aquí las emisiones provocadas por los vehículos de asistencia correspondían a los servicios sin tener en cuenta los recorridos en plataforma, siendo apenas un 1% en promedio, respecto a las emisiones totales generadas por estos.

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 (GAVs), entre otros tantos.

Mitigación

Tras analizar distintas bibliografías y analizar los resultados, la mejora de la eficiencia de los motores de los GSE es una de las principales medidas a tomar para disminuir la formación de partículas ultrafinas. Por lo tanto, se propone el reemplazo con motores diésel más actualizados o motores eléctricos. Además, también podría resultar factible proporcionar el suministro eléctrico de los aviones directamente desde la central de suministro, en lugar de utilizar una unidad de suministro portátil (GPU).

Y, fundamentalmente el análisis que surge del corriente estudio y abre nuevas líneas de investigación son la optimización y la buena logística para reducir tiempos y recorridos con el objetivo de minimizar las emisiones en el entorno aeroportuario de los GSE.

Agradecimientos

Se agradece a la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Buenos Aires por el financiamiento mediante beca de investigación a distintos autores del presente trabajo.

Referencias

- [1] IATA, “IATA pronostica 8.200 millones de pasajeros aéreos en 2037,” no. 62, p. 5, 2018.
- [2] D. S. Lee *et al.*, “Aviation and global climate change in the 21st century,” *Atmos. Environ.*, vol. 43, no. 22-23, pp. 3520-3537, 2009.



- [3] Environmental Branch of ICAO, "ICAO Environmental Report 2016, aviation and climate change," 2016.
- [4] P. Krammer and D. Scholz, "ALOHA - Aircraft Design for Low-Cost Ground Handling," *Mobiles*, vol. 35, pp. 60-63, 2009.
- [5] IATA, "Annual Review 2015," 2015.
- [6] IATA, "the Annual Review 2018," 2018.
- [7] S. R. H. Barrett, R. E. Britter, and I. A. Waitz, "Global mortality attributable to aircraft cruise emissions," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, no. 19, pp. 7736-7742, 2010.
- [8] M. Winther, U. Kousgaard, T. Ellermann, A. Massling, J. K. Nøjgaard, and M. Ketzel, "Emissions of NO_x, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport," *Atmos. Environ.*, vol. 100, no. x, pp. 218-229, 2015.
- [9] M. E. J. Stettler, S. Eastham, and S. R. H. Barrett, "Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions," *Atmos. Environ.*, vol. 45, no. 31, pp. 5415-5424, 2011.
- [10] E. Factors and Z. Airport, "Aircraft Ground Handling Emissions."
- [11] K. Press-Kristensen, "Contaminación del aire en los aeropuertos," 2012.
- [12] T. Academy, R. Academy, and S. S. Trakt, "Controlling airport-related air pollution," 2003.
- [13] Airport Cooperative Research Program, "Report 78 Airport Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial," 2012.
- [14] F. Gomez, D. Scholz, and B. Tor, "Improvements To Ground Handling Operations and Their Benefits To Direct Operating Costs," *Dtsch. Luft- und Raumfahrtkongress 2009*, pp. 1-11, 2009.
- [15] U.S. Environmental Protection Agency - Office of Transportation and Air Quality, "User ' s Guide for the Final NONROAD2005 Model," *Environmental Protection*, no. December, p. 202, 2005.
- [16] M. Schmidt, A. Paul, M. Cole, and K. O. Ploetner, "Challenges for ground operations arising from aircraft concepts using alternative energy," *J. Air Transp. Manag.*, vol. 56, no. Part B, pp. 107-117, 2016.