

## DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EN MATLAB PARA SIMULAR OPERACIONES DE GSE EN PLATAFORMA Y CUANTIFICAR SUS EMISIONES

Mercedes, Richard<sup>1</sup>; Sznajderman Lucas<sup>1,2</sup>; Di Bernardi C. Alejandro.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo Transporte Aéreo – UIDET “GTA-GIAI”, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Pcia. Buenos Aires, Argentina. Dirección postal 1900.

Correo electrónico: leo\_0908\_3@hotmail.com

<sup>2</sup>Comisión de Investigaciones Científicas - CIC, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Pcia. Buenos Aires, Argentina

**Palabras claves:** plataforma, GSE, modelo, emisiones gaseosas,

### Introducción

Las infraestructuras aeroportuarias, a la vez de ser centros fundamentales de desarrollo local y regional, son también elementos que interactúan con el medioambiente en el que se constituyen. La necesidad de hacer compatible el desarrollo del transporte aéreo con la conservación de los valores naturales y de la calidad de vida en el entorno aeroportuario, precisa de estudios y modelos de actuación basados en el equilibrio entre los factores económicos, sociales y ambientales, que permita el acercamiento a un modelo sostenible de desarrollo.

Por su parte, la OACI reconoce que las fuentes de emisiones relacionadas con los aeropuertos tienen la capacidad de emitir contaminantes que pueden contribuir al deterioro de la calidad del aire en las comunidades cercanas. Por ello, los programas y normas nacionales e internacionales sobre calidad del aire requieren continuamente que las autoridades aeroportuarias y los órganos gubernamentales traten los aspectos de calidad del aire en las cercanías de los aeropuertos.

En un análisis de calidad del aire local, es necesario un cálculo de dispersión en el cual se modeliza la mezcla atmosférica de estas sustancias o contaminantes traza emitidos de las fuentes locales, y sobre la base de principios científicos, se predicen las resultantes distribuciones de concentraciones (por lo general cerca de la superficie). Los resultados, o concentraciones atmosféricas previstas, constituyen la base de los estudios de consecuencias sobre la calidad del aire local (LAQ).

Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la OMS de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos) [1].

Uno de los objetivos de la OACI respecto al medio ambiente es el de limitar o reducir las repercusiones de las emisiones de la aviación en la calidad del aire local, cuantificando y analizando las distintas fuentes de emisiones aeroportuarias. Los dos principales sectores de una evaluación de la calidad del aire son: a) los inventarios de emisiones; y b) la modelización de la dispersión de concentraciones de contaminantes.

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), y aquellas procedentes de vehículos de apoyo en tierra o GSE [2].

Particularmente, los GSE engloban entre sus operaciones al 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. En resumen, incluyen todos los equipos de servicio en tierra y los vehículos normalmente asociados con los movimientos de la aeronave en la plataforma [3]. Cada uno de estos vehículos poseen distintos tiempos de operación, debido a su función, y no todos los procesos pueden realizarse simultáneamente. Los servicios se aplican en el turnaround, definido como "el período de tiempo en el cual la aeronave está en la plataforma, desde que frena en el puesto de estacionamiento en el arribo, hasta que deja el puesto para el despegue incluyendo el posicionamiento del tractor de remolque". El tipo de GSE varía según la aplicación en función de su operación y deben tenerse en cuenta los servicios requeridos además según el puesto de estacionamiento[4].

El inventario de emisiones proporciona la masa total de las emisiones liberadas al medio ambiente y constituye la base para la notificación, el cumplimiento y la planificación de la mitigación, pudiéndose utilizar también como insumo para moderar las concentraciones de contaminantes proporcionando información sobre las condiciones generales, así como las contribuciones de fuentes específicas.

El presente estudio tiene como objetivo describir el modelo para lograr la cuantificación de las emisiones gaseosas generadas por los GSE.

## Desarrollo y discusión

El estudio presenta el proceso lógico para inventariar y cuantificar las emisiones generadas por los vehículos de asistencia durante las distintas etapas en el servicio a la aeronave y la circulación. Brindando a su vez la posibilidad de visualizar la concentración de las emisiones según distintas variables que se requieran, por ejemplo: emisiones por puesto, por aeronave, por aerolínea, por día, entre otros.

El modelo tiene en cuenta los movimientos de las aeronaves (horario de arribo y partida al puesto de estacionamiento) junto a las características físicas del aeropuerto, por un lado. Además, este puede ser completado con otros inputs que permiten ajustarse aún más a la realidad como son el: tipo de vuelo (FSC, escala o LCC), cantidad de pasajeros, porcentaje de ocupación, entre otros.

A continuación, se detalla el proceso para el cálculo de las emisiones gaseosas derivadas de las operaciones de los GSE:

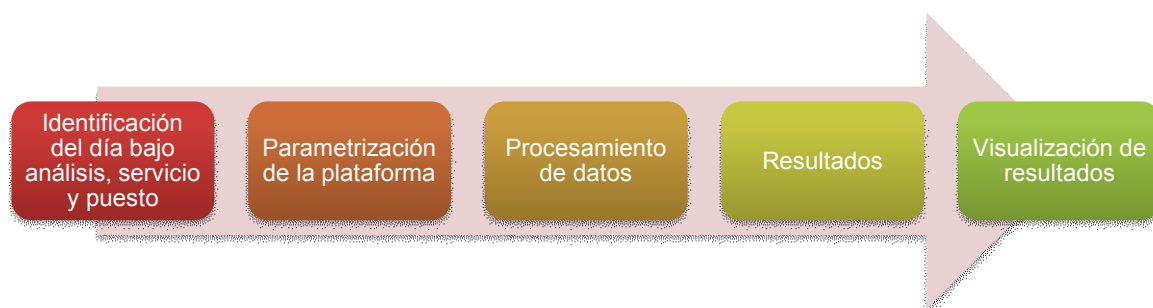


Fig. 1 Proceso lógico de trabajo para determinar la contaminación gaseosa.

La herramienta toma la suma del aporte contaminante debido a la discretización de tiempos de servicio según el proceso de espera, conexión, servicio (realización de la tarea en sí) y desconexión de los equipos GSE. El modelo integrado surge a partir del modelo 'sofisticado' para el cálculo de las emisiones brindado por la OACI que considera 5 factores, corrigiendo el factor de potencia, deterioro, carga, y tiempo operativo con el objetivo de potenciar el modelo.

$$E_{i,l} = P_l \cdot FE_{i,l} \cdot f_{d,t} \cdot \sum_{j=1}^8 (f_{c_j} \cdot t_j)$$

Dónde,

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

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

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

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

$f_{d,l}$ : Factor de deterioro del equipo GSE 'l', adimensional.

$t_j$ : Tiempos discretizados de los GSE en la espera, conexión, servicio y desconexión para la carga y descarga, en unidades [h].

### Identificación del día de estudio

Identificar el Aeropuerto que se requiera estudiar y el día bajo estudio en función de los movimientos anuales es el primer análisis que se debe hacer para establecer los siguientes parámetros, que servirán de entrada al modelo, como: mezcla de tráfico, horarios de arribo y salida, puestos de estacionamiento, y perfiles de servicio (FSC- Full Service Carrier, escala y LCC- Low Cost Carrier).

### Parametrización de la plataforma bajo estudio y asignación de puestos base de cada equipo GSE

Reconocido el Aeropuerto, la herramienta permite incorporar la figura de la plataforma extraída de Google Maps o Earth en formato (.jpg). Con la imagen cargada, el usuario procede a identificar los puestos de estacionamiento, vértices y puestos base de cada equipo GSE. Así, el modelo parametriza las distancias recorridas por cada vehículo de asistencia según sea la demanda (ver Fig. 2).



Fig. 2 Ubicación de base de los GSE y recorridos establecidos según herramienta desarrollada.

Procesamiento de los datos en el modelo desarrollado

El procesamiento de datos refiere a una serie de definiciones que el usuario debe asignar según sea el objetivo del estudio o datos definidos que se tenga.

El primer paso que sirve de input al modelo es la identificación de los elementos geométricos dependientes de la plataforma. En ella, se procede a escalar en metros las distancias, reconocer el origen de base de cada equipo GSE y la utilización de manga para cada puesto (esto dependerá de la necesidad de contar con vehículos de asistencia a los pasajeros como los buses o escaleras), tal como se muestra en la Fig. 3.

Pi	Pf	d	D
1	2	58	4.2029
2	3	40	2.6986

Fig. 3 Ingreso de datos, medición de distancias entre puestos y utilización de manga por puesto.

En el desarrollo del modelo se tienen en cuenta todos los tiempos por etapa (espera, conexión, servicio y desconexión) tanto para la descarga como carga, en donde se le asocia a cada uno un factor de carga correspondiente, tal como plantea [5]. Los tiempos de servicio pueden surgir de mediciones [4] o de datos de los Airport Planning.

Además, entre la principal información que es necesaria identificar es el tipo de vuelo. Esto se debe a que las características y cantidad de vehículos de asistencia dependen del tipo de operación de la aeronave. A continuación, se identifican las posibles configuraciones propuestas:

- Servicio origen-destino con conexión a terminal y en puesto remoto
- Servicio parcial o de escala con a terminal y en puesto remoto
- Low Cost Carrier (LCC)

El vuelo de origen-destino se identifica porque en el lugar de destino se realiza un intercambio completo de pasajeros, carga y combustible, en función de la programación del vuelo; en el vuelo de tránsito (escala) el intercambio de pasajeros, carga y combustible se hace de manera parcial y a diferencia del primero no cuenta con limpieza de cabina ni agua residuales.

Por su parte, en los vuelos LCC la velocidad, la eficiencia y la precisión son importantes en la operación para minimizar los tiempos de respuesta y los costos de manejo en tierra. Para el caso bajo estudio de este tipo de configuración, no se tienen en cuenta el Ground

Power Unit (GPU), catering, pushback, remolque de escaleras, bus de pasajeros ni vehículo para la limpieza de cabina [6].

### Resultados

En función de los datos y la profundización que se requiera según el usuario, se podrán obtener valores de emisión según los gases analizados para la circulación y servicio de los GSE. También, se podrían obtener valores de emisión por puesto, por aeronave, por pasajero o por aerolínea.

Además, la herramienta cuantifica la cantidad de vehículos requeridos para la demanda según la distribución de la modalidad planteada.

A continuación, se muestra a modo de visualización la tabla con los resultados de salida que ejecuta el modelo.

Tabla 1 Resultados del cálculo de emisión de gases de algunos GSE expresado en Kg

		CO2	CO	HC	NOx	SOx	PM10
Catering	Servicio	274,80	0,51	0,22	1,11	0,05	0,09
	Circulación	17,52	0,03	0,01	0,07	0,00	0,01
	Total	292,32	0,54	0,24	1,18	0,05	0,10
GPU	Servicio	430,23	1,70	0,51	6,92	0,09	0,56
	Circulación	0,89	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	Total	431,12	1,71	0,51	6,93	0,09	0,56

### Visualización de resultados

La herramienta desarrollada permite, además de extraer datos en formato .xls, la visualización de emisiones según GSE, puesto, aeronaves, aerolíneas, etc. A continuación, en la Fig. 4 se presentan los resultados en donde se comparan las emisiones según operación (servicio y circulación) para cada GSE en una demanda dada.

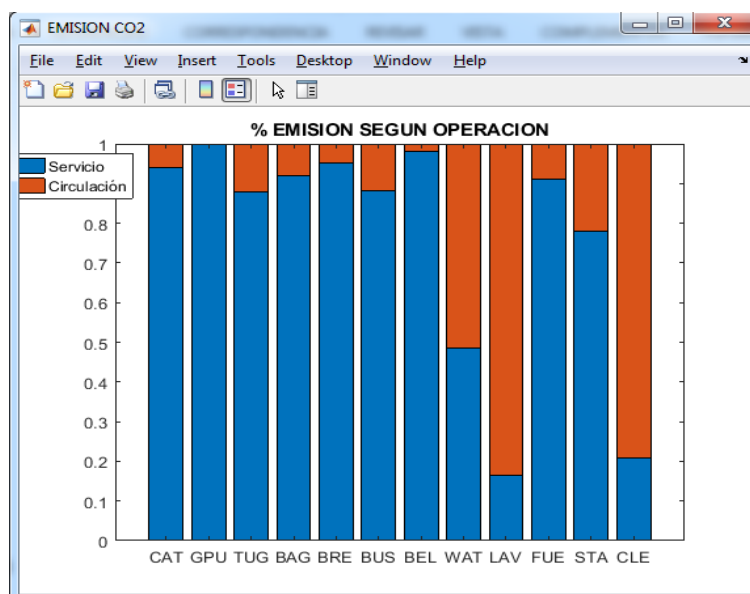


Fig. 4 Resultados en porcentaje de la emisión de gases por circulación y servicio de los GSE según herramienta

## Conclusiones

La aplicación de esta herramienta permite realizar inventarios anuales de emisiones gaseosas producto de la actividad de los vehículos de transporte de pasajeros a las aeronaves que operaron puestos de plataforma remotos. Se propone un modelo surgido del método de cálculo avalado por ICAO, y por distintas organizaciones a nivel internacional, determinado como sofisticado, donde los resultados obtenidos presentan un nivel de confianza y exactitud como muy elevado. Dicho método contempla las emisiones de los GSE producto de la circulación y el servicio a la aeronave.

La visualización de resultados de las emisiones por puesto permite identificar cuáles son los críticos. Esto admite proponer posibles medidas de mitigación para posterior reducción de emisiones. Además, dado que el modelo cuantifica las emisiones según los puestos, es posible visualizar aquellos que más emisiones asociadas en circulación poseen. Teniendo en cuenta la distancia a la base, y la dificultad operativa debido a la estrategia respecto a cuestiones de capacidad, permite recomendar posibles redistribuciones de operaciones en mayor medida de los diversos puestos a otros más cercanos o viceversa.

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

## Bibliografía

- [1] World Health Organization, "WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide," *Glob. Updat. 2005 Summ. risk Assess.*, 2005.
- [2] ICAO, *Airport air quality manual*, vol. 1. 2011.
- [3] Airport Cooperative Research Program, *Airport Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial*. 2012.
- [4] L. Sznajderman, "Cuantificación del aporte contaminante gaseoso producto de las operaciones de GSE en plataforma: metodología según tiempos operativos," *CAIA V*, pp. 1–11, 2018.
- [5] L. Sznajderman, G. Ram, and C. A. Di Bernardi, "Influence of the Apron Parking Stand Management Policy on Aircraft and Ground Support Equipment ( GSE ) Gaseous Emissions at Airports," *MDPI*, p. 25, 2021.
- [6] Y. L. Tan, "Differences in Ground Handling in the Global Market Yik Lun Tan," pp. 1–34, 2010.