

Estudio del Aporte Contaminante Gaseoso Generado por la Circulación de los Vehículos de Apoyo en Tierra (GSE) en Emplazamientos Aeroportuarios.

Carlos Trujillo¹, Lucas Sznajderman^{1,2}, Alejandro Di Bernardi¹

¹Grupo Transporte Aéreo – UIDET GTA-GLAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Pcia. Buenos Aires, Argentina.

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

Resumen—El presente estudio se encarga de analizar la contaminación gaseosa generada en uno de los distintos procesos relacionados a las actividades de aviación civil, en este caso se consideran las emisiones originadas por la circulación de los vehículos de apoyo en tierra GSE (Ground Support Equipment), asociados al servicio o asistencia complementaria que requieren las aeronaves en plataformas de terminal de pasajeros o terminal de carga. El objetivo principal del presente estudio es desarrollar un proceso metodológico de cálculo que permita determinar y analizar el aporte contaminante gaseoso debido a la circulación de los distintos vehículos GSE en diferentes aeropuertos, con el fin de proponer nuevas opciones en la gestión operacional de dichos vehículos de tal manera que se pueda minimizar los aportes contaminantes. Si bien se desarrolla un proceso genérico, se presenta la aplicación del mismo en el Aeropuerto Internacional Jorge Newbery de tal manera que se determina el aporte contaminante gaseoso de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x) a partir de la anualización de la hora pico del día promedio del mes pico; estos contaminantes son parte de los denominados ‘contaminantes base’ respecto a lo que se define como calidad del aire.

Palabras clave— aeropuertos, contaminación, emisiones, GSE.

Abstract—This study is focused on analyzing the gaseous pollution from one of the different process related to activities of civil aviation, in this case it is considered emissions originated by the movements of different Ground Support Equipment (GSE), this movements are associated to the service or complementary assistance that aircrafts require on passenger and cargo terminal ramps. The main objective of this study is to develop a methodology process of calculus that allows to determine and analyze the amount of gaseous emissions from the GSE movements with the purpose of proposing new options of GSE operational manage which could minimize the among of pollution. Whether well the methodology is developed as a generic process, it is presented with an application at an International Airport Jorge Newbery, in that way the amount of gaseous pollution is determined for carbon moxide (CO), hydrocarbons (HC) and nitrogen oxides (NO_x) from the annualization of the rush hour of the average day of the peak month; these contaminants form part of the ‘Criteria Pollutants’ that refers to Air Quality.

Keywords— airports, pollution, emissions, GSE.

INTRODUCCIÓN

Según el panorama global de crecimiento de mercado de la empresa de fabricación de aeronaves Boeing, se estima que el tráfico de pasajeros tiene un crecimiento anual de alrededor del 5% (ver Fig.1) lo que conlleva a un incremento de la flota aérea para dar abastecimiento a la cantidad de pasajeros. Solo en Latinoamérica se prevé el aumento de la flota aérea de 1.550 a 3.660 desde el 2016 hasta el 2036 (Tinseth, 2017). Debido a este incremento, cada emplazamiento aeroportuario se ve en la necesidad de reorganizar y planificar el funcionamiento del mismo con el

fin optimizar las operaciones. Siendo el aeropuerto un intercambiador modal de transporte, este tipo de emplazamiento requiere el análisis de los distintos grupos de vehículos como lo son: las aeronaves, los vehículos de apoyo en tierra (*GSE Ground Support Equipment*), tanto los que brindan servicio a la aeronave o los que prestan servicio de mantenimiento al propio aeropuerto; los vehículos de acceso en tierra (*GAV: Ground Access Vehicles*) por medio de los cuales los pasajeros se trasladan al aeropuerto, transporte de carga, entre otros.

El aporte contaminante es una medida que puede ser estudiada en distintas industrias y se puede diferenciar, de cada una, cuáles son sus principales fuentes de emisión. En

Dirección de contacto:

Carlos Trujillo, Calle 116 e/47 y 48 La Plata, 1900, Argentina.

Tel: +54(221)4236679 int: 147, carlostrujilloguerrero@gmail.com

integran los distintos medios de circulación de pasajeros y carga, se estima que los automóviles, buses, trenes, transporte marítimo, transporte aéreo, representan un 28% del total de emisiones en EEUU, según la bibliografía de referencia, y en detalle se conoce que el aporte contaminante gaseoso, de gases de efecto invernadero, debido al transporte aéreo ronda en el 3% de emisiones comparado con otras industrias de transporte (ver Fig. 2), sin embargo, las exigencias aeronáuticas llevan siempre a modificaciones en el plano tecnológico u operativo de tal modo que se pueda reducir las emisiones gaseosas.



Fig. 1: Crecimiento de la flota aérea y tráfico de pasajeros. Fuente: Boeing

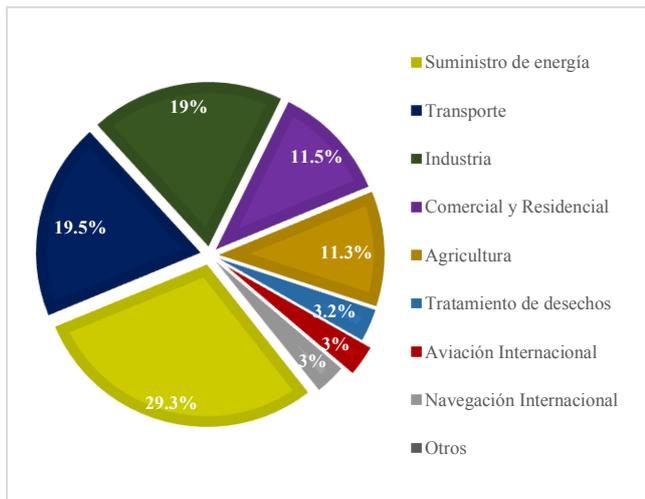


Fig. 2: Gases de efecto invernadero emitidas por distintas industrias. Fuente: IPCC 2014.

PROBLEMÁTICA ACTUAL

La planificación y organización del asentamiento aeroportuario integra varios ámbitos de estudio, por lo cual, el presente informe se centra en la integración de la gestión operacional con la gestión ambiental del grupo específico de vehículos GSE. La gestión operacional debe analizar las distintas configuraciones de funcionamiento de los GSE, es decir, requiere de una categorización de procedimientos debido al tipo de servicio que demanda la aeronave, al tipo de vuelo, al tipo de plataforma y a las distintas áreas de movimiento permitidas para estos vehículos, mientras que, la gestión ambiental se encarga de cuantificar las emisiones gaseosas de los GSE para las distintas formas de operación

inventario de emisiones gaseosas del aeropuerto en el cual se identifiquen detalladamente cuáles son las fuentes de mayor emisión con el fin de proponer tareas de mitigación o neutralización.

El presente informe se enmarca en la cuantificación de emisiones gaseosas de una de la fuentes que opera en el asentamiento aeroportuario, por lo cual es necesario conocer que dichas emisiones son producto directo de la combustión del combustibles fósiles dejando, como productos de la reacción química, gases tales como el monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos; mientras que otros contaminantes se producen al mezclarse con los gases atmosféricos generando así: dióxido de carbono, gas metano, sulfuros, entre otros que en su conjunto son denominados gases de efecto invernadero debido a que estos tardan más tiempo en desintegrarse, pero durante el proceso de desintegración se siguen acumulando en la atmósfera y causan impactos ambientales como la elevación de la temperatura media terrestre. Por esta razón es necesario medir la cantidad de emisiones gaseosas de las distintas fuentes como motores de transporte aéreo y terrestre, plantas industriales, fuentes debido a la agroindustria, entre otras. (Sequeira, 2015), (Unzalu, 2012), (FAA, 2015).

Siendo la base de estudio los asentamientos aeroportuarios se identifican las distintas fuentes de emisión gaseosa (ver Fig. 3) estas pueden ser: 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. Un inventario de emisiones gaseosas completo requiere el cálculo de aporte contaminante gaseoso de las fuentes mencionadas previamente. Para los fines de este estudio se estima la contaminación gaseosa debido al grupo GSE, este grupo cuenta con distintas variables que influyen en el modelo de cálculo.



Fig. 3: Fuentes de emisión gaseosa en el aeropuerto Jorge Newbery.

Actualmente existen metodologías asociadas al cálculo de emisiones gaseosas emitidas por distintas fuentes. En lo que respecta, a los vehículos GSE se han encontrado metodologías en donde se vincula seis etapas del proceso de servicio: posicionamiento, espera, conexión, servicio, desconexión, salida (Airbus S.A.S, 2005), (Boeing, 2013), (Embraer, 2015), las cuales no tienen en cuenta el procedimiento de *circulación en rampa* de los distintos equipos de servicio, de tal manera que se identifica la necesidad de contabilizar y analizar las emisiones gaseosas

para identificar la relevancia de las mismas respecto a los demás procedimientos de servicio.

Aeropuerto de referencia

Siendo Aeroparque el aeropuerto de mayor actividad en Argentina como se puede ver en la Tabla 1, dónde, las operaciones aeroportuarias presentan una distribución del 80% de operaciones de cabotaje y un 20% de operaciones internacionales: se toma como aeropuerto de referencia debido a la disponibilidad de datos, es decir, movimientos mensuales actualizados al 2017, además de la posibilidad de realizar relevamientos in situ y visitas.

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AEROPUERTO JORGE NEWBERY (DATOS ACTUALIZADOS AL 2017).

Características	Aeroparque
Clave de referencia	4C
Operaciones aéreas anuales	123.077
Movimiento de pasajeros total anual	13.261.437
Carga aérea (toneladas)	2.055

Contaminantes Gaseosos

El Comité de Protección Ambiental en la Aviación (CAEP) perteneciente a la Organización de Aviación Civil Internacional se ha encargado de estandarizar los niveles de contaminación gaseosa de distintos contaminantes producto de las actividades de la aviación civil (ICAO, 2011), con lo cual los contaminantes a cuantificar son: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos nitrógeno (NO_x) que forman parte del grupo de contaminantes bases o contaminantes primarios que afectan directamente la calidad del aire, por lo tanto, sus concentraciones en el aire local están reguladas ya que afectan la salud de los seres vivos. (FAA, 2015).

METODOLOGÍA Y APLICACIÓN

Se presenta la metodología conjuntamente con su aplicación directa en el cálculo de emisiones gaseosas en el aeropuerto Jorge Newbery

Hipótesis Generales

Se asume que todos los vehículos GSE han entrado en servicio el mismo año, lo cual quiere decir que los motores de dichos vehículos llevan en funcionamiento la misma cantidad de tiempo lo cual se relaciona con el año de fabricación usado para el factor de deterioro.

Se asume que los equipos no autopropulsados como la unidad de potencia en tierra (GPU) y la unidad de arranque neumático, cuando son trasladados en plataforma se encuentran apagados y son transportados por los tractores de carga de equipaje.

Se adopta que los vehículos de servicio de catering, de servicio de agua potable y de limpieza de residuos sólidos se estacionan en la misma área y fuera de la plataforma en la cual prestan servicio. Respecto de los camiones de reabastecimiento de combustible se asume que los mismos se encuentran estacionados cercanos a las instalaciones de la aeroplanta de combustible.

Se adopta que todos los vehículos consumen combustible diésel.

Metodología General

A continuación, se enumeran los pasos a seguir según la metodología desarrollada (ver Fig. 4), en dónde se identifican y organizan las variables asociadas en cada etapa de cálculo.

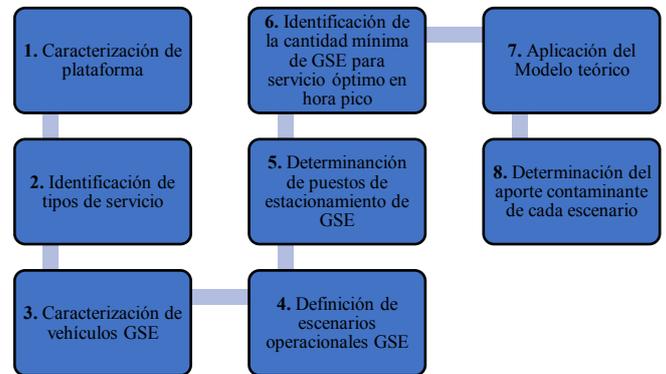


Fig. 4: Esquema de la metodología general de cálculo de aporte contaminante producto de la circulación de los equipos GSE.

1) Caracterización de plataforma

Los emplazamientos aeroportuarios son capaces de brindar servicio a cierto número aeronaves, por eso es necesario caracterizarlo de tal manera que se identifique del mismo: la cantidad, tipo y geometría de sus plataformas; la cantidad de puestos de estacionamiento y la asignación de aeronaves que lo pueden utilizar; la cantidad de operaciones en la hora pico del día de diseño del mes pico.

El modelo se centra en el análisis de los movimientos del grupo GSE en plataformas comerciales. La configuración geométrica de la plataforma, las restricciones de uso y la asignación de cada puesto de estacionamiento de aeronaves son necesarias en el desarrollo de la metodología de cálculo porque la cantidad de vehículos de asistencia varía de acuerdo con el tipo de aeronave, además algunas aeronaves requieren otro tipo de servicios, y también la distancia de traslado de los equipos GSE puede ser mayor o menor dependiendo de lugar donde estos se encuentren estacionados; algunas características son publicadas en los AIP (Aeronautical Information Publication) de la autoridad aeronáutica respectivo de cada aeropuerto (ver Fig. 5).

Parte de la caracterización de la plataforma comercial se corresponde con el análisis de la cantidad de operaciones que recibe el aeropuerto, por lo cual, se presentan dos métodos de cálculo para la obtención del día de diseño. Para la determinación de dicha jornada es necesario obtener el día promedio, este se puede calcular a partir del método ADPM o el método IATA, en los cuales se contempla la cantidad de movimientos del mes pico del año de diseño. El día de diseño, para un aeropuerto, representa un cronograma regular de la mezcla de flota aérea que recibe durante todo un año de operaciones con lo cual se puede evaluar intervalos más cortos de ese día de diseño. En este caso, se analiza a partir de la hora pico, es decir, se puede diseñar o modelar a partir de la cantidad de aeronaves presentes en una hora con mayor número de movimientos, con lo cual, se puede estimar

la cantidad de vehículos mínima necesaria para realizar todos los servicios de asistencia.

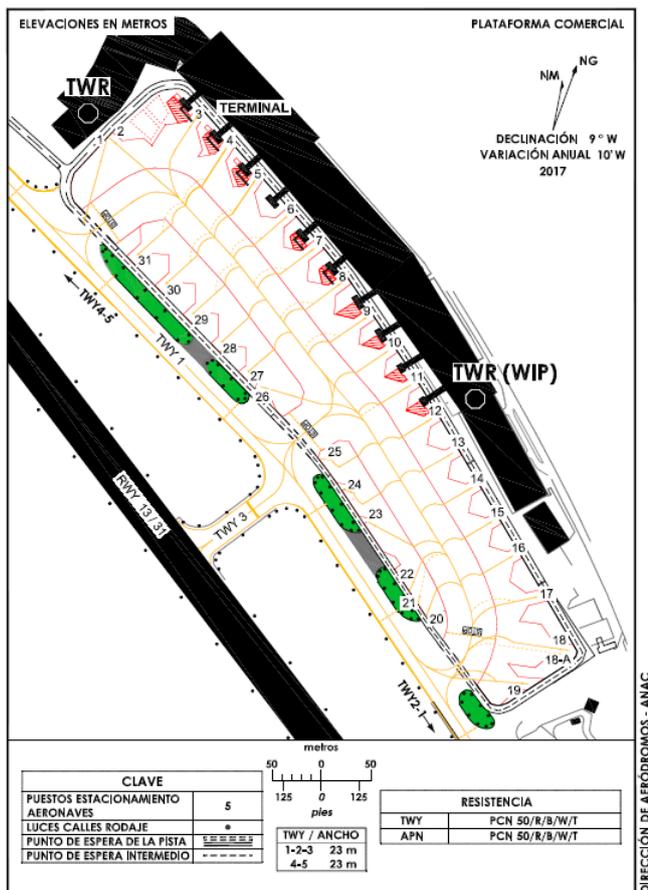


Fig. 5: Configuración geométrica de la plataforma comercial Aeroparque.

El procedimiento para calcular la hora pico del día promedio del mes pico - Método ADPM - es:

- Determinar la cantidad de operaciones del año de diseño.
- Identificar el mes pico, el mes con mayor número de operaciones.
- Calcular operaciones del día promedio, es decir, cantidad total de movimientos en el mes dividido para la cantidad de días.
- En base al día promedio se identifica el o los días que más cercanos se encuentren al número de operaciones del día promedio.
- Tomar un día más cercano al día promedio como día de diseño. Se identifica la cantidad de operaciones de ese día.
- Del día de diseño se contabilizan la cantidad de operaciones por hora y se identifica la hora pico, es decir, la hora con mayor cantidad de operaciones.

El procedimiento para calcular el día promedio - Método IATA - es:

- Determinar la cantidad de operaciones del año de diseño.
- Identificar el mes pico, el mes con mayor número de operaciones.
- En base al mes pico identificar la semana promedio, es decir, la suma de operaciones de cada semana dividido para la cantidad de semanas del mes.

- Con la semana promedio, identificar la semana de diseño como la más cercana al número de operaciones de la semana promedio.
- Una vez definida la semana de diseño, seleccionar el segundo día de mayor cantidad de operaciones como el día de diseño.
- Contabilizar la cantidad de operaciones del día de diseño por cada hora e identificar la hora pico, es decir, la hora con mayor número de operaciones.

Obtención del día de diseño:

Por parte del explotador aeroportuario se consigue los movimientos anuales del año de diseño en este caso 2017 (ver Fig. 6), con lo que se identifica el mes de mayor cantidad de operaciones (ver Fig. 7), de este mes se identifican los movimientos totales, el día promedio y la semana promedio como se muestra en la Tabla 2.

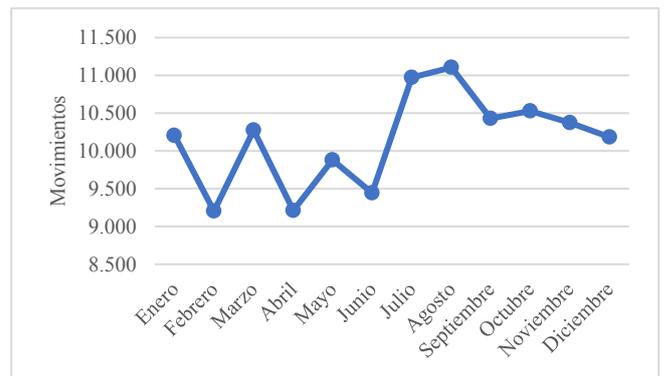


Fig. 6: Movimientos mensuales Aeroparque 2017.

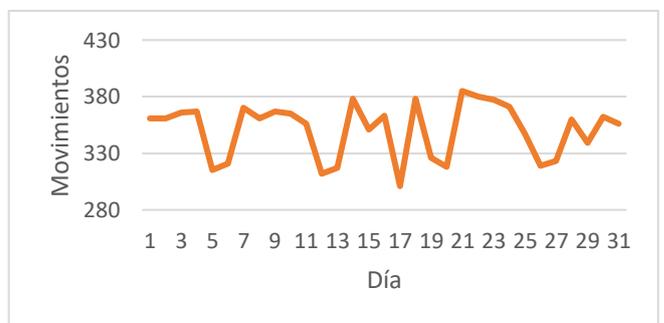


Fig. 7: Movimientos agosto 2017 (mes pico) Aeroparque.

TABLA 2: MES PICO – DÍA PROMEDIO, SEMANA PROMEDIO. AEROPARQUE.

Datos Obtenidos	Cantidad de movimientos
Agosto 2017	11.104
Día Promedio	351
Semana Promedio	2.454

A partir del día y la semana promedio se obtiene el día de diseño con los métodos IATA y ADPM de los cuáles se elige el día con mayor cantidad de movimientos o el más representativo en una semana de actividad regular, como se muestra en la Tabla 3, por lo tanto, se ubica la fecha 9 del mes de agosto como el día de diseño.

TABLA 3: MES PICO – DÍA DE DISEÑO. AEROPARQUE 2017

Método	Fecha	Cantidad de movimientos
IATA	9	367
ADPM	15	351

Se identifica la cantidad de aeronaves en la hora pico del día de diseño (ver Fig. 8), por lo tanto, se modela la asignación de puestos de estacionamientos en plataforma a partir de dicha cantidad de aeronaves.

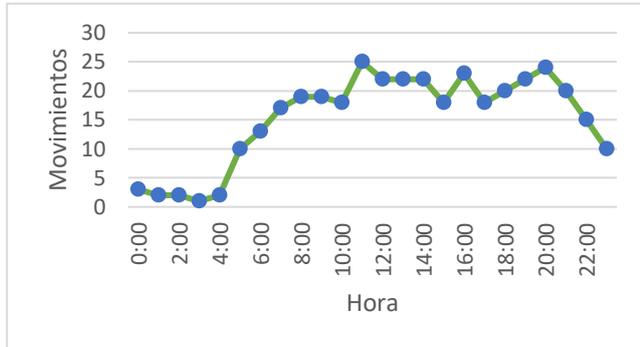


Fig. 8: Frecuencia de movimientos del día de diseño. Aeroparque 2017.

2) *Identificación de tipos de servicio*

De todo el conjunto de actividades de la aviación civil, el estudio se centra en el análisis del servicio de transporte aéreo comercial (Regular y No Regular), en el cual, sin importar el tipo de operación ya sea de vuelos internacionales, de cabotaje o regionales, se puede llegar a modelar el tipo de servicio que recibe la aeronave en base a dos tipos de vuelo: origen-destino (turnaround flight) y vuelo en tránsito (transit flight).

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; mientras que, en el vuelo en tránsito (en escala) el intercambio de pasajeros, carga y combustible se hace de manera parcial, a este último se lo conoce como un vuelo con conexiones.

De acuerdo con la mezcla de tráfico del día de diseño, en Aeroparque como se muestra en la Tabla 4, se identifica el total de aeronaves que requieren servicio en la hora pico del día de diseño. Por lo tanto, se opta por calcular el aporte contaminante gaseoso por tipo de servicio o asistencia para la mezcla de tráfico aéreo, es decir, para dicha mezcla de tráfico se evaluarán los escenarios de estudio para cuatro distintas formas de asistencia a la aeronave: Servicio Completo: con y sin pasarela de embarque; Servicio Parcial: con y sin pasarela de embarque.

TABLA 4: TIPO DE AERONAVES EN ARRIBO EL DÍA DE DISEÑO AEROPARQUE

Aeronave	Cantidad de arribos
Boeing 737-800	7
Airbus 320-200	3
Boeing 737-700	1
Embraer 190	1

De acuerdo con la identificación del tipo de servicio se corresponde una cantidad y tipo de vehículos GSE que

brindan la asistencia a la aeronave en el emplazamiento aeroportuario de destino o de tránsito.

3) *Caracterización de vehículos GSE*

Una vez identificados los tipos de servicio, se procede a caracterizar la cantidad y los modelos de los GSE que realizan la asistencia a la aeronave; en conjunto con las hipótesis de cálculo aplicadas en el aeropuerto Jorge Newbery se identifican los vehículos asociados para cada servicio, como se muestran desde las Tablas 5 a la 8.

TABLA 5: VEHÍCULOS DE ASISTENCIA PARA SERVICIO COMPLETO, SIN USO DE PASARELA DE EMBARQUE.

Modelo GSE
Tractor de Equipaje
Cinta transportadora
Remolque de aeronaves
Transporte de pasajeros
Camión Catering
Limpieza aguas residuales
Abastecimiento de agua potable
Unidad de potencia en tierra*
Escalera de pasajeros*
Camión cisterna de combustible

*Los vehículos no son autopropulsados

TABLA 6: VEHÍCULOS DE ASISTENCIA PARA SERVICIO COMPLETO, CON USO DE PASARELA DE EMBARQUE.

Modelo GSE
Tractor de Equipaje
Cinta transportadora
Remolque de aeronaves
Camión Catering
Limpieza aguas residuales
Abastecimiento de agua potable
Unidad de potencia en tierra*
Camión cisterna de combustible

*Los vehículos no son autopropulsados

Se puede distinguir que, para el mismo servicio de asistencia en este caso ‘Servicio Completo’, la cantidad de vehículos GSE se reduce de 10 a 8 si la aeronave ocupa un puesto de estacionamiento con servicio de pasarela de embarque.

TABLA 7: VEHÍCULOS DE ASISTENCIA PARA SERVICIO PARCIAL, SIN USO DE PASARELA DE EMBARQUE.

Modelo GSE
Tractor de Equipaje
Cinta transportadora
Remolque de aeronaves
Transporte de pasajeros
Camión Catering
Unidad de potencia en tierra*
Escalera de pasajeros*

*Los vehículos no son autopropulsados

TABLA 8: VEHICULOS DE ASISTENCIA PARA SERVICIO PARCIAL, CON USO DE PASARELA DE EMBARQUE.

Modelo GSE
Tractor de Equipaje
Cinta transportadora
Remolque de aeronaves
Camión Catering
Unidad de potencia en tierra*

*Los vehículos no son autopropulsados

En el caso de un ‘Servicio Parcial’, la cantidad de vehículos GSE se reduce de 7 a 5 si la aeronave ocupa un puesto de estacionamiento con servicio de pasarela de embarque.

Se excluyen del cálculo de aporte contaminante a: elevadores de carga, camión de pasajeros con movilidad reducida, unidades de arranque neumático y limpieza de cabina; las razones por las cuales no son considerados en Aeroparque son: los elevadores de carga porque no son usados en aeronaves de fuselaje angosto, además estos vehículos son mayormente usados en plataforma de carga; los camiones de pasajeros de movilidad reducida porque son pedidos con antelación para vuelos específicos, agregarlo generaría un aporte contaminante constante; en lo que respecta a limpieza de cabina se observa que los operarios son llevados en automóviles comunes o muchas veces se dirigen caminando hacia el puesto de estacionamiento de la aeronave (no se encuentran datos más detallados o patrones específicos); y, en lo que respecta a la unidad de arranque neumático no se visualizó en ninguna de las visitas el uso regular de dicho equipo en ninguna aeronave que se encuentra estacionada temporalmente en plataforma.

La cantidad de vehículos de asistencia, de acuerdo con su nivel de servicio (completo o parcial), depende del tipo de aeronave y las mismas quedan definidas a partir de las operaciones del día de diseño. Se realiza esta discriminación debido a que el aporte contaminante puede variar por la cantidad de vehículos en circulación.

4) Definición de escenarios operacionales GSE

Criterio específico: Los escenarios de estudio no combinan entre si el tipo de asistencia que se brinda a las aeronaves: la dificultad en modelar la asignación de puestos de estacionamiento en contacto se debe a que la elección de estacionamiento la realiza la propia aerolínea por motivos económicos. Esta restricción a la metodología no limita la posibilidad de cálculo para la obtención de un rango de valores (mínimo y máximo) del aporte contaminante gaseoso para los distintos servicios por separado.

Los escenarios de estudio son analizados con la finalidad de optimizar, integrando la gestión ambiental y la gestión operacional, los recursos materiales disponibles en plataforma para la cantidad de operaciones de la hora pico del día de diseño del mes pico. A partir de la hora pico se pueden anualizar los resultados por el período de regularidad del aeropuerto de esta manera se prevé un límite superior de aporte contaminante.

En el ámbito ambiental se distingue que entre menor cantidad de vehículos circulando en plataforma el aporte contaminante gaseoso debe disminuir; y en el ámbito operacional se visualiza que optimizando los circuitos de

circulación en plataforma se reduce la cantidad de kilómetros transitados por cada vehículo, lo que también provoca una reducción en el aporte contaminante total. Por lo tanto, se propone para la metodología de cálculo evaluar 3 escenarios de los cuales se conoce:

Escenario 1- Ubicación Contacto: la asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves se realiza tomando las siguientes consideraciones:

- Plataforma libre y sin restricciones en el uso del puesto de estacionamiento.
- Mezcla de tráfico y frecuencia de arribo real.
- Asignación del puesto de estacionamiento de forma ordenada y ascendente desde el puesto de estacionamiento 2 al 13 que se encuentran frente a la terminal de pasajeros. (ver Fig. 9).



Fig. 9: Asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves: En contacto. Esquema Aeroparque.

Escenario 2- Ubicación Remota: la asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves se realiza tomando las siguientes consideraciones:

- Plataforma libre.
- Restricciones en el uso del puesto de estacionamiento, por la condición geométrica de las mismas. Existe un puesto de estacionamiento 18A que limita el espacio 18 y 19, a su vez si la aeronave se estaciona en el puesto 21 esto limita el espacio de estacionamiento 20 y 22.
- Mezcla de tráfico y frecuencia de arribo real.
- Asignación del puesto de estacionamiento de forma ordenada y ascendente desde el puesto de estacionamiento 18 al 31 que se encuentran frente a la terminal de pasajeros. (ver Fig. 10)



Fig. 10: Asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves: Remota. Esquema Aeroparque.

Escenario 3-Ejemplificación Real: la asignación de los puestos de estacionamiento de aeronaves se realiza para simular una situación lo más real posible, se realizan las siguientes consideraciones:

- Plataforma ocupada con los movimientos previos a la hora pico.
- Restricción de puestos de estacionamiento por condiciones geométricas y por limitaciones presentadas en el AIP.
- Mezcla de tráfico y frecuencia de arribo real.
- Asignación de puestos de estacionamiento de manera aleatoria de acuerdo con los espacios disponibles y a los circuitos de circulación óptimos en plataforma. (ver Fig. 11)



Fig. 11: Asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves: Ejemplificación Real. Esquema Aeroparque.

Combinando, a los escenarios de estudio y el tipo de servicio que se dan a las aeronaves es decir un servicio completo o parcial (con y sin pasarela), se puede resumir los escenarios combinados de estudio aplicables, como se muestra en la Tabla 9, sobre los cuales se puede estimar la cantidad de aporte contaminante gaseoso.

TABLA 9: APLICABILIDAD DE ESCENARIOS COMBINADOS DE ESTUDIO.

Tipo de servicio	Pasarela	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Completo	CON	Aplicable	No aplicable*	No aplicable*
	SIN	Aplicable	Aplicable	Aplicable
Parcial	CON	Aplicable	No aplicable*	No aplicable*
	SIN	Aplicable	Aplicable	Aplicable

*No Aplicables porque los puestos remotos no pueden contar con una pasarela de embarque.

La cantidad de escenarios se pueden agregar o eliminar de acuerdo con las preferencias de cálculo que se requieran analizar, a su vez, los escenarios pueden servir para modelar emplazamientos aeroportuarios más complejos con mayor cantidad de terminales.

5) Determinación de puestos de estacionamiento de GSE

En la caracterización de la plataforma de terminal de pasajeros, existen áreas de estacionamiento y áreas de circulación de vehículos de asistencia, por lo tanto, en esta instancia se definen los puestos de estacionamiento de los GSE: puestos de estacionamiento fijo, temporales o de espera cuando no están en servicio. Se debe identificar la disposición de estos puestos de estacionamiento y espera en la configuración de plataforma que corresponda (ver Fig. 12),

a su vez se distingue las calles de rodaje de servicios (ver Fig. 13), áreas prohibidas para estacionamiento.



Fig. 12: Puestos de estacionamiento GSE identificados en la plataforma comercial de pasajeros de Aeroparque.



Fig. 13: Calles de rodaje de servicios en Aeroparque.

Las áreas de estacionamientos de equipos se tienen en cuenta para el modelo (ver Fig. 14), debido a que las distancias de circulación de vehículos GSE son diferentes para cada procedimiento operacional del vehículo GSE hacia cada puesto de estacionamiento de aeronave. Para esto se identifica que distintos grupos vehiculares GSE pueden realizar procedimientos similares de circulación en plataforma como se define en los procedimientos generales.

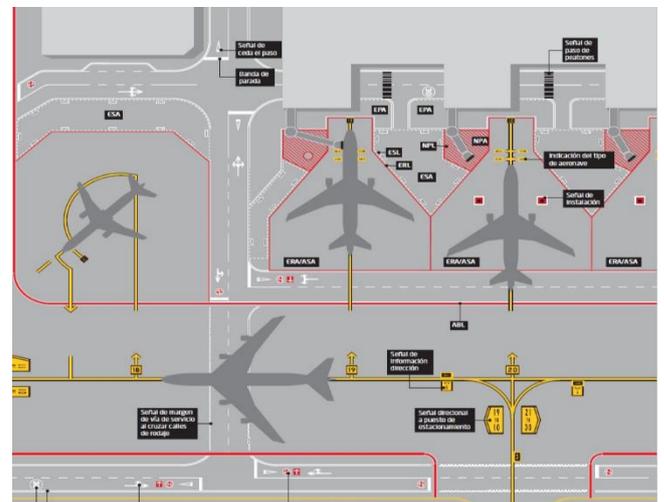


Fig. 14: Esquema Áreas de estacionamiento de equipos. Fuente: AENA.

Es necesario, a partir de este punto del análisis, la identificación de dichos equipos para cada tipo de procedimiento como se muestra en la Tabla 10.

TABLA 10: PUESTOS DE ESTACIONAMIENTO POR TIPO DE PROCEDIMIENTO.

Tipo de procedimiento	Grupo GSE	Puesto de estacionamiento GSE
A	Cinta transportadora	Cada área de espera (ESA) de acuerdo a sus tiempos de servicio por aeronave ^[1] .
	Elevadores de carga	
	Remolque de aeronaves	
	Tractor GPU	
B	Escalera de pasajeros	Área de estacionamiento fija donde los pasajeros son llevados en transporte una vez que la aeronave arriba ^[2] .
	Tractor carga de equipaje	
	Camión pasajeros movilidad reducida	
	Transporte de pasajeros	
C	Camión catering	Los vehículos de catering, limpieza y abastecimiento de agua se encuentran estacionados fuera de plataforma ^[3] .
	Limpieza aguas residuales	
	Abastecimiento Agua Potable	
	Camión sistema de combustible	
		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.

6) *Identificación de la cantidad mínima de GSE para servicio óptimo en hora pico*

Se procede a identificar la cantidad mínima de vehículos GSE para el servicio de la hora pico según las frecuencias de arribo como se muestra en la Tabla 11, para lo cual es necesario desarrollar diagramas de Gantt con el tiempo de servicio correspondiente a cada tipo de asistencia para la cantidad y mezcla de aeronaves. El tiempo de servicio obtenido de las características de la aeronave para planificación aeroportuaria (ACAP) en el diagrama de Gantt correspondiente indica si el vehículo GSE está disponible o libre para asistir a otra aeronave, (Airbus S.A.S, 2005), (Boeing, 2013), (Embraer, 2015). Los ACAP no toman en cuenta el tiempo que tardan en trasladarse de un lugar a otro por lo que es necesario identificar estos tiempos de circulación críticos, por ejemplo: el tiempo de traslado a puntos extremos de plataforma desde puestos de estacionamiento fijos o temporales de GSE, tiempo de traslado para la máxima distancia de traslado por tipo de procedimiento de asistencia.

TABLA 11: FRECUENCIA DE ARRIBOS EN LA HORA PICO DEL DIA DE DISEÑO. AEROPARQUE 2017.

Hora	Minuto	Aeronave
11	3	Boeing 737-800
11	6	Boeing 737-800
11	8	Boeing 737-800
11	14	Airbus 320-200
11	20	Boeing 737-800
11	24	Airbus 320-200
11	28	Embraer 190
11	30	Boeing 737-700
11	33	Boeing 737-800
11	36	Boeing 737-800
11	43	Boeing 737-800
11	46	Airbus 320-200

Se muestra una ejemplificación del diagrama de Gantt para el vehículo GSE “Tractor de carga de equipaje” (ver Fig. 15), para este ejemplo de presentación de diagramas de Gantt se puede observar cada grupo vehicular con un distinto color, es decir, el tiempo en servicio de cada vehículo y su tiempo libre para circulación en plataforma de acuerdo a su procedimiento.

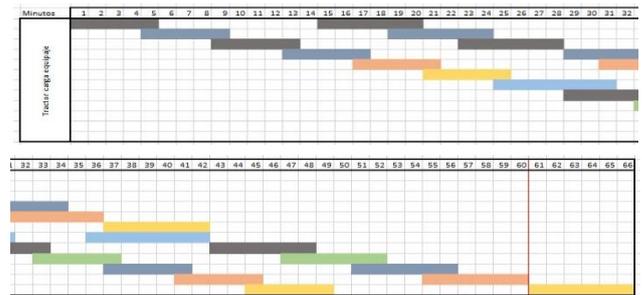


Fig. 15: Ejemplificación diagrama de Gantt para vehículo “Tractor de carga de equipaje”.

Los diagramas de Gantt, realizados para cada tipo de servicio, entrega como resultado la cantidad mínima de vehículos GSE necesarios para la asistencia de 12 aeronaves en plataforma para la hora pico, como se muestra en la Tabla 12

TABLA 12: CANTIDAD DE VEHÍCULOS GSE POR DIAGRAMA GANTT, PARA SERVICIO ÓPTIMO EN HORA PICO

MODELO GSE	Servicio Completo		Servicio Parcial	
	Sin Pasarela	Con pasarela	Sin Pasarela	Con Pasarela
Tractor de carga de equipaje	14	14	12	12
Cinta transportadora carga	12	12	12	12
Remolque de aeronaves	3	3	0	0
Transporte de pasajeros	14	0	12	0
Camión Catering	5	5	1	1
Limpieza aguas residuales	4	4	1	1
Abastecimiento de agua potable	3	3	1	1
Unidad de Potencia en Tierra	4	4	4	4

MODELO GSE	Servicio Completo		Servicio Parcial	
	Sin Pasarela	Con pasarela	Sin Pasarela	Con Pasarela
Escalera de Pasajeros	14	0	12	0
Camión cisterna de combustible	7	7	1	1
Cantidad Total de vehículos	80	52	56	32

7) Aplicación del modelo teórico

“La emisión de cada contaminante según el tipo de vehículo GSE se puede calcular mediante la ec.(1)”: (ICAO, 2011), (Fleuti, 2014), (Snajderman et al., 2017).

$$E_{i,t} = P_t \cdot F E_{i,t} \cdot f_{c_t} \cdot f_{d_t} \cdot \frac{1}{Vel_t} \cdot d_t \quad (1)$$

Dónde,

$E_{i,t}$: Emisión gaseosa del contaminante ‘i’, respecto del equipo GSE ‘t’. [g] ó [kg]

P_t : Potencia al freno del equipo GSE ‘t’, unidades [HP]

$F E_{i,t}$: Factor de emisión del contaminante ‘i’, respecto del equipo GSE ‘t’, unidades $\left[\frac{g}{HP.h}\right]$ ó $\left[\frac{kg}{HP.h}\right]$.

f_{c_t} : Factor de carga del equipo GSE ‘t’, adimensional.

f_{d_t} : Factor de deterioro del equipo GSE ‘t’, adimensional.

Vel_t : Velocidad de circulación en plataforma del equipo GSE ‘t’, unidades $\left[\frac{km}{h}\right]$.

d_t : distancia de traslado del equipo ‘t’, unidades [km].

Potencia máxima, factor de carga

Siguiendo la aplicación de la metodología en el aeropuerto de Aeroparque se puede relevar datos propios del emplazamiento, así no se trabaja con los valores por defecto. Si no es posible la accesibilidad a ciertos datos, los valores por defecto entregan un resultado acorde al año de diseño.

Para la potencia máxima, como se muestra en la Tabla 13, se obtienen de los modelos de los GSE. En relación con la potencia se analiza el factor de carga, el mismo indica que el equipo no está funcionando a su máxima potencia. El factor de carga depende directamente de las revoluciones por minuto del eje y, en los procedimientos de circulación los motores, de los vehículos GSE, no trabajan a potencia máxima, debido a esto se obtiene un factor de carga promedio de acuerdo al funcionamiento de estos vehículos en aeropuertos de referencia, como se muestra en la Tabla 14.

TABLA 13: POTENCIAS MÁXIMAS RELEVADAS A PARTIR DE LOS MODELOS GSE EXISTENTES EN AEROPARQUE.

Modelos GSE	Potencia [HP]
Tractor de carga de equipaje	110
Cinta transportadora	85
Remolque de aeronaves	140
Transporte de pasajeros	117
Camión Catering	115
Limpieza aguas residuales	215

Modelos GSE	Potencia [HP]
Abastecimiento de agua potable	215
Unidad de Potencia en Tierra*	110
Escalera de Pasajeros*	110
Camión cisterna de combustible	360

*Los vehículos no son autopropulsados

TABLA 14: FACTOR DE CARGA PARA EQUIPOS GSE.

Modelos GSE	Factor de carga
Tractor de carga de equipaje	0.475
Cinta transportadora	0.350
Remolque de aeronaves	0.363
Transporte de pasajeros	0.490
Camión Catering	0.283
Limpieza aguas residuales	0.263
Abastecimiento de agua potable	0.350
Unidad de Potencia en Tierra*	0.475
Escalera de Pasajeros*	0.475
Camión cisterna de combustible	0.388

*Los vehículos no son autopropulsados

Factor de Emisión

Se calcula el aporte contaminante de los siguientes contaminantes pertenecientes a los contaminantes bases: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Los factores de emisión representan la cantidad de producto de combustión quemado por unidad de potencia por hora para un vehículo específico certificado con un motor nuevo, es decir, la cantidad de emisión contaminante en un tiempo determinado de servicio a una potencia de operación del equipo, como se indica en la Tabla 15.

Los factores de emisión son obtenidos a través de la base de datos del software EDMS (Emissions and Dispersion Modeling System), en donde, se considera el tipo de vehículo GSE: modelo y regulación gaseosa por tipo de motor correspondiente. La base de datos se encuentra avalada por la CAEP – Comité de Protección Ambiental de la Aviación -, debido a que estos factores de emisión son analizados a partir de motores que se encuentran bajo las regulaciones de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de EEUU). Los ensayos para la obtención de los factores de emisión se realizan para motores con cero horas de uso, a máxima potencia por tipo de combustible, por esta razón, los factores de emisión se corresponden con la potencia máxima de cada motor y luego se aplican los factores de carga que modifican la potencia, y el factor de deterioro que corrige el respectivo factor de emisión.

TABLA 15: FACTOR DE EMISIÓN POR TIPO DE VEHÍCULO GSE.

Modelos GSE	CO	HC	NO _x
	[g/HP.h]	[g/HP.h]	[g/HP.h]
Tractor de carga de equipaje	0.130	0.130	0.280
Cinta transportadora	0.360	0.130	0.280
Remolque de aeronaves	0.130	0.130	0.280

5° Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica - CAIA 2018

Modelos GSE	CO	HC	NOx
	[g/HP.h]	[g/HP.h]	[g/HP.h]
Transporte de pasajeros	0.110	0.130	0.280
Camión Catering	0.130	0.130	0.280
Limpieza aguas residuales	0.110	0.130	0.280
Abastecimiento de agua potable	0.110	0.130	0.280
Unidad de Potencia en Tierra*	0.130	0.130	0.280
Escalera de Pasajeros*	0.130	0.130	0.280
Camión cisterna de combustible	0.130	0.130	0.280

*Los vehículos no son autopropulsados

Factor deterioro

El factor de deterioro corrige de cierta manera al factor emisión debido a que los equipos llevan años de uso en plataforma, si bien los motores son certificados estos llevan años de mantenimiento y uso lo cual quiere decir que sus componentes no son totalmente nuevos (reparados o componentes cambiados), entonces sus niveles de emisión van a ser mayores a los de un motor nuevo. “En la ec.(2) se puede observar el cálculo empírico de corrección por factor de deterioro, que depende de dos coeficientes ‘A, b’, que a su vez dependen del tipo de vehículo, la potencia máxima, el año en servicio del equipo y los años de vida útil”

$$f_d = 1 + A \cdot \left(\frac{GSE_{año}}{GSE_{vida\ útil}} \right)^b \quad (2)$$

Para cada contaminante gaseoso en estudio, según su respectivo rango de potencia, se corresponde con dos tipos de coeficientes auxiliares para el cálculo de deterioro, como se puede observar en la Tabla 16, estos coeficientes se encuentran actualizados al año 2013 con lo que se asume por defecto que los equipos llevan en servicio al menos 5 años; además el factor de deterioro depende del año de servicio y la vida útil promedio del equipo GSE, como se muestra en la Tabla 17.

TABLA 16: COEFICIENTES AUXILIARES PARA FACTOR DETERIORO.

Modelos GSE	CO		HC		NOx	
	A	b	A	b	A	b
Tractor de carga de equipaje	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Cinta transportadora	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Remolque de aeronaves	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Transporte de pasajeros	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Camión Catering	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Limpieza aguas residuales	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Abastecimiento de agua potable	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Unidad de Potencia en Tierra*	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Escalera de Pasajeros*	0.150	1	0.270	1	0.008	1
Camión cisterna de combustible	0.150	1	0.270	1	0.008	1

*Los vehículos no son autopropulsados

TABLA 17: AÑOS DE SERVICIO Y VIDA ÚTIL POR TIPO DE VEHICULO GSE, PARA FACTOR DETERIORO.

Modelo GSE	Año en servicio	Vida útil [años]
Tractor de carga de equipaje	5	13
Cinta transportadora	5	11
Remolque de aeronaves	5	14
Transporte de pasajeros	5	10
Camión Catering	5	10
Limpieza aguas residuales	5	13
Abastecimiento de agua potable	5	10
Unidad de Potencia en Tierra*	5	14
Escalera de Pasajeros*	5	14
Camión cisterna de combustible	5	14

*Los vehículos no son autopropulsados

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 Tabla 18.

TABLA 18: FACTOR DETERIORO POR TIPO DE VEHICULO GSE.

Modelos GSE	CO	HC	NOx
Tractor de carga de equipaje	1.058	1.104	1.003
Cinta transportadora	1.068	1.123	1.004
Remolque de aeronaves	1.054	1.096	1.003
Transporte de pasajeros	1.075	1.135	1.004
Camión Catering	1.075	1.135	1.004
Limpieza aguas residuales	1.058	1.104	1.003
Abastecimiento de agua potable	1.075	1.135	1.004
Unidad de Potencia en Tierra*	1.054	1.096	1.003
Escalera de Pasajeros*	1.054	1.096	1.003
Camión cisterna de combustible	1.054	1.096	1.003

*Los vehículos no son autopropulsados

Velocidad de circulación en plataforma

Se define por seguridad operacional una velocidad máxima de circulación en plataforma que según el aeropuerto de estudio se define en $Vel_t = 20 \left[\frac{km}{h} \right]$ de acuerdo al manual de operaciones en rampa. (Gierasimiuk, 2015).

Coefficiente de emisión ajustado

Se multiplican todos los factores que no depende de la distancia de traslado, como se muestra en la Tabla 19, y se lo denomina “Coeficiente de emisión ajustado”, de tal manera que el siguiente paso es la determinación de las distancias que cada vehículo se traslada en plataforma.

TABLA 19: COEFICIENTE DE EMISIÓN AJUSTADO, APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN AEROPARQUE

Modelo GSE	Coeficiente de emisión [g/km]		
	CO	HC	NOx
Tractor de carga de equipaje	0.359	0.375	0.734
Cinta transportadora	0.572	0.217	0.418
Remolque de aeronaves	0.348	0.362	0.713
Transporte de pasajeros	0.513	0.640	1.219
Camión Catering	0.227	0.240	0.457
Limpieza aguas residuales	0.328	0.405	0.793
Abastecimiento de agua potable	0.445	0.555	1.058
Unidad de Potencia en Tierra*	0.358	0.372	0.734
Escalera de Pasajeros*	0.358	0.372	0.734
Camión cisterna de combustible	0.955	0.994	1.959

*Los vehículos no son autopropulsados

Distancias de traslado

Las distancias de traslado son obtenidas por estimación de rutas a través del software Google Earth Pro en conjunto con los planos escalados proporcionados por el correspondiente AIP del aeropuerto. Se debe tomar en cuenta las consideraciones de la metodología, es decir: los procedimientos que realizan los distintos vehículos GSE, los puestos o áreas de estacionamiento GSE (fijos o temporales), la disponibilidad de equipos para brindar servicio y la asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves.

8) *Determinación del aporte contaminante de cada escenario*

Para la finalización del cálculo se requiere la multiplicación del coeficiente de emisión ajustado por la cantidad de kilómetros que cada grupo vehicular se traslada en plataforma. Se usa Microsoft Excel como herramienta de recopilación y cálculo, una vez obtenidos los resultados de los tres escenarios se genera un libro de cálculo adicional para realizar la comparación de los distintos servicios de asistencia a la aeronave.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por la aplicación de la metodología en el aeropuerto Jorge Newbery (Aeroparque), de tal manera que se pueda comparar directamente el aporte contaminante gaseoso de las distintas formas de servicio de asistencia a la aeronave para cada escenario de evaluación. En resumen, se muestran en la Tabla 20 y Tabla 21, para identificar la nomenclatura de los distintos gráficos.

TABLA 19: TIPOS DE SERVICIOS EVALUADOS.

Tipo de asistencia de los GSE
Servicio Completo sin pasarela
Servicio Completo con pasarela
Servicio Parcial sin pasarela
Servicio Parcial con pasarela

TABLA 20: RESUMEN DE ESCENARIOS DE ESTUDIO EVALUADOS.

Escenario	Denominación	Características
1	Ubicación: Contacto	- Plataforma libre y sin restricciones de uso.
		- Asignación de puestos de estacionamiento lineal, orden: ascendente, ubicación: frente a terminal de pasajeros.
2	Ubicación: Remota	- Plataforma libre y sin restricciones de uso.
		- Asignación de puestos de estacionamiento lineal, orden: ascendente, ubicación: remotos a la terminal de pasajeros.
3	Ubicación: Ejemplificación Real	- Plataforma ocupada y con restricciones de uso.
		- Asignación de puestos de estacionamiento con orden aleatorio

Resultados por escenario de estudio

Escenario 1 por tipo de servicio

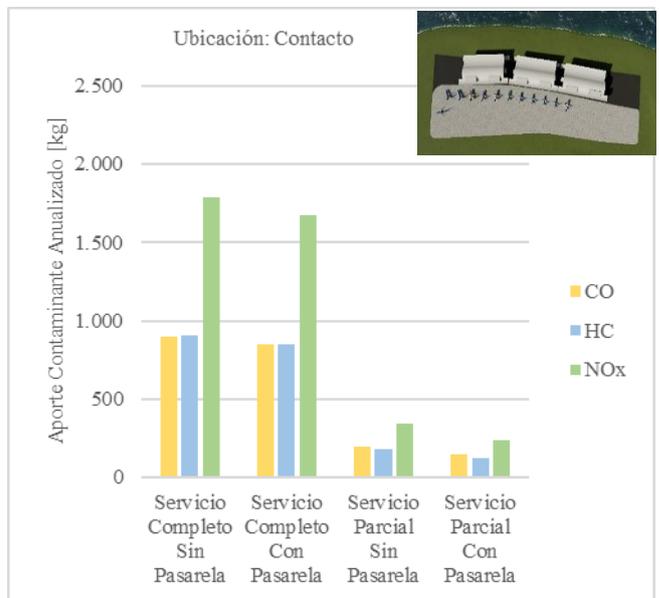


Fig. 16: Aporte contaminante gaseoso. Escenario 1 por tipo de servicio.

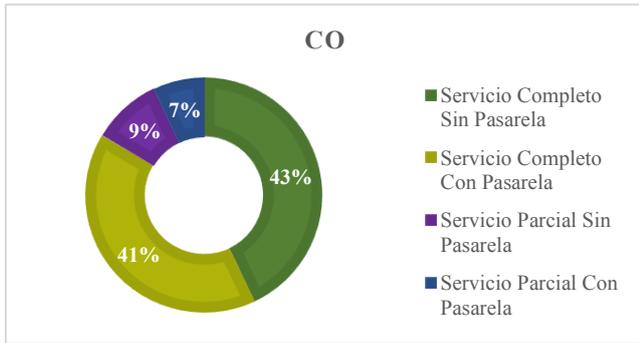


Fig. 17: Porcentaje de emisión CO Escenario 1 por tipo de servicio.

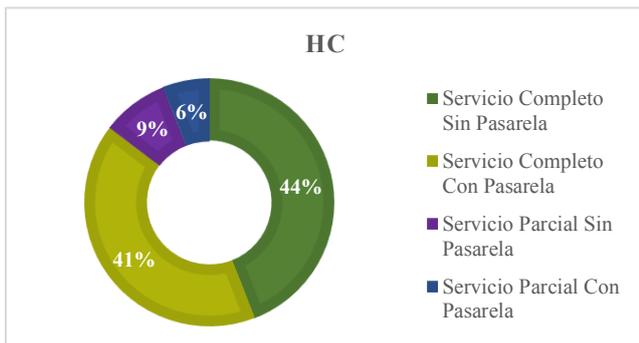


Fig. 18: Porcentaje de emisión HC Escenario 1 por tipo de servicio.

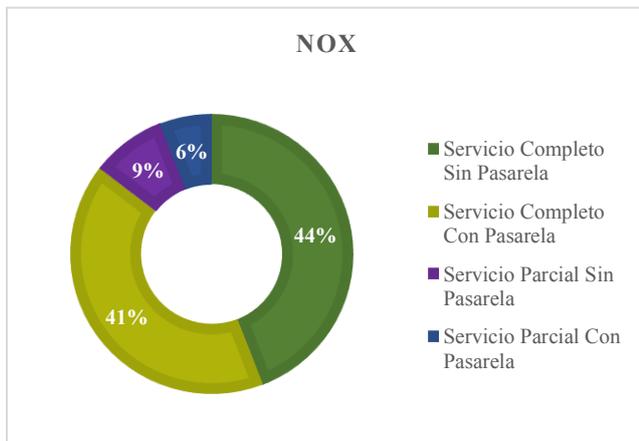


Fig. 19: Porcentaje de emisión NO_x Escenario 1 por tipo de servicio.

Escenario 2 por tipo de servicio

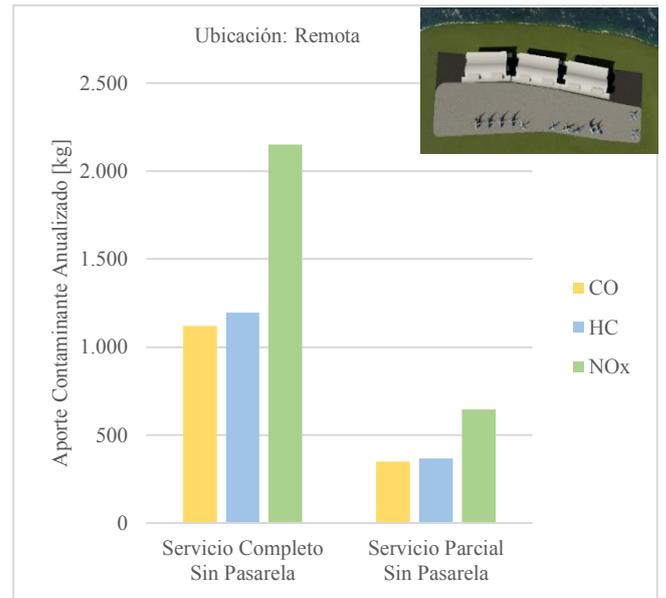


Fig. 20: Aporte contaminante gaseoso. Escenario 2 por tipo de servicio.

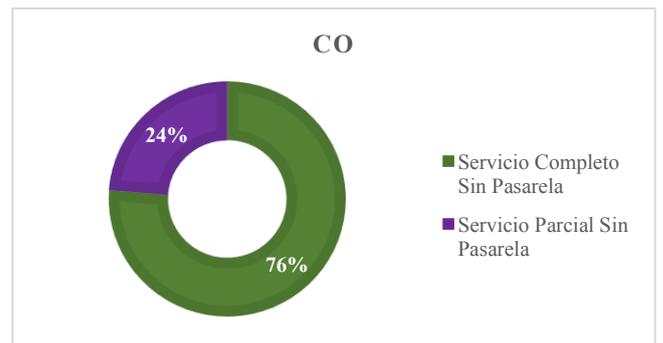


Fig. 21: Porcentaje de emisión CO Escenario 2 por tipo de servicio.

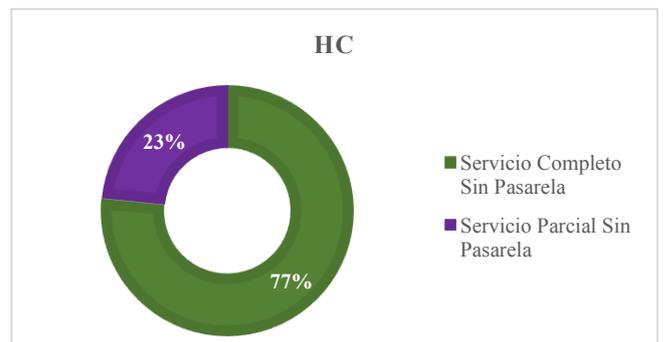


Fig. 22: Porcentaje de emisión HC Escenario 2 por tipo de servicio.

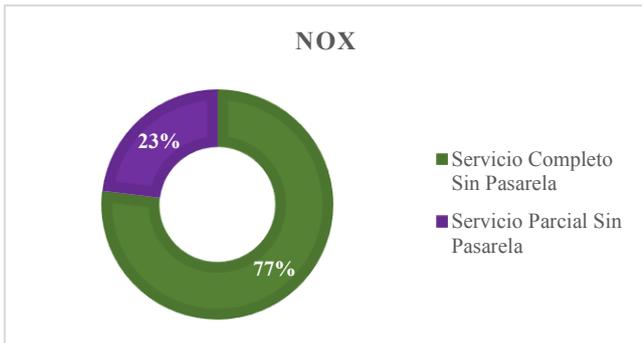


Fig. 23: Porcentaje de emisión NO_x Escenario 2 por tipo de servicio.

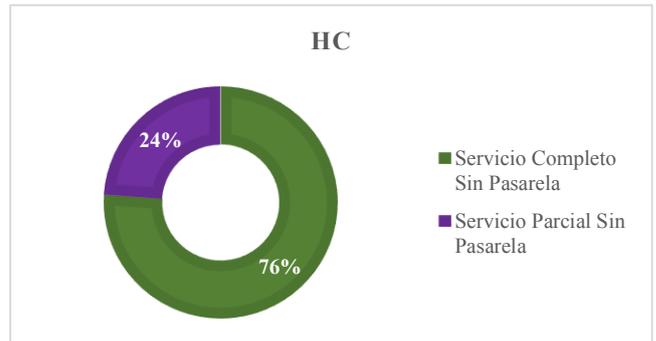


Fig. 26: Porcentaje de emisión HC Escenario 3 por tipo de servicio.

Escenario 3 por tipo de fuente

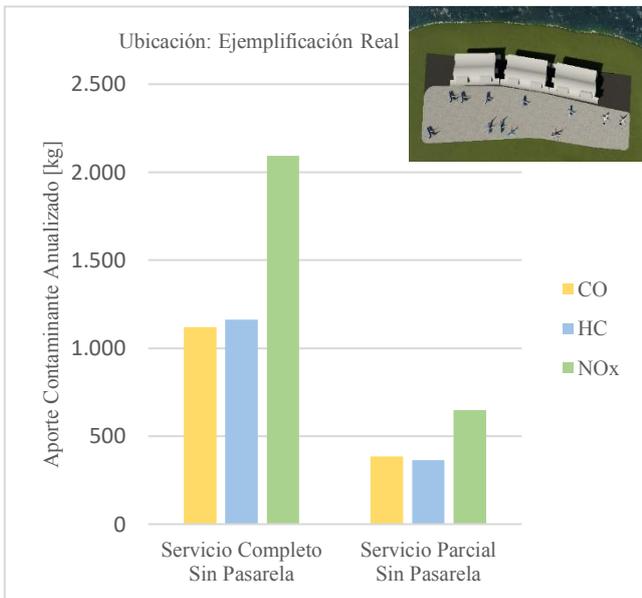


Fig. 24: Aporte contaminante gaseoso. Escenario 3 por tipo de servicio.

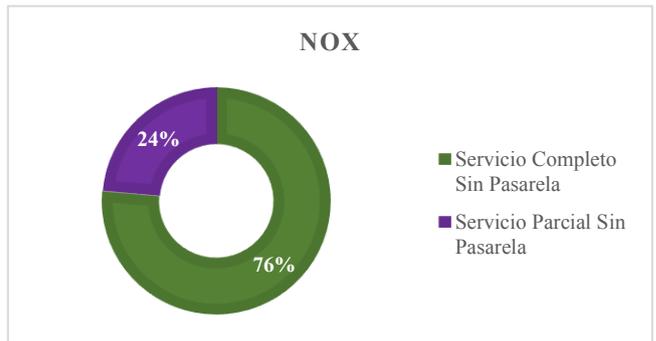


Fig. 27: Porcentaje de emisión NO_x Escenario 3 por tipo de servicio.

Aporte Contaminante Escenario 1 por fuentes de emisión en tipo de servicio

Monóxido de Carbono

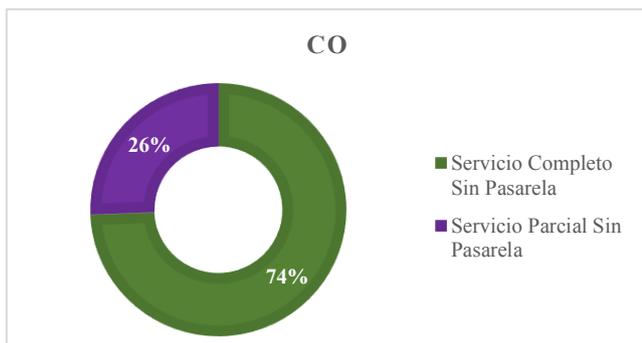


Fig. 25: Porcentaje de emisión CO Escenario 3 por tipo de servicio.

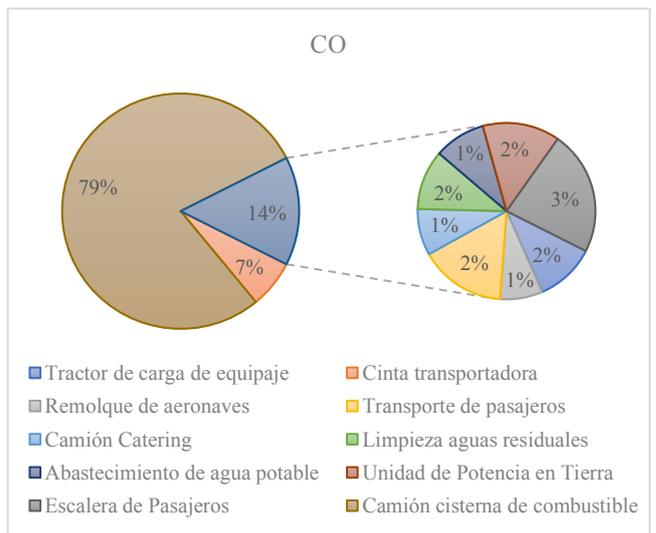


Fig. 28: Escenario 1 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

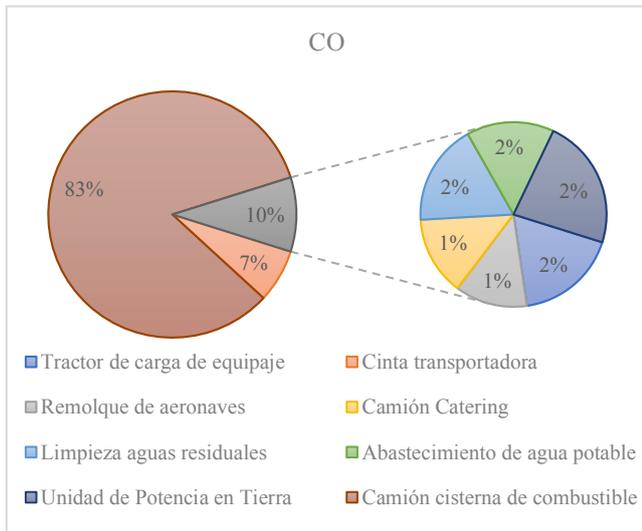


Fig. 29: Escenario 1 - Servicio Completo con uso de pasarela de embarque.

Hidrocarburos

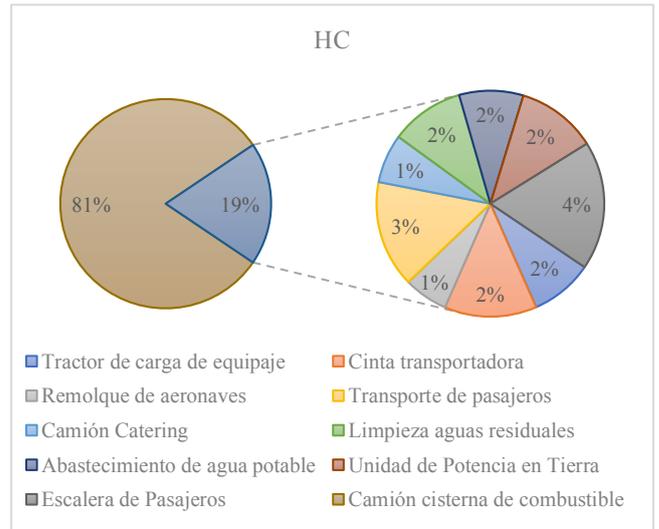


Fig. 32: Escenario 1 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

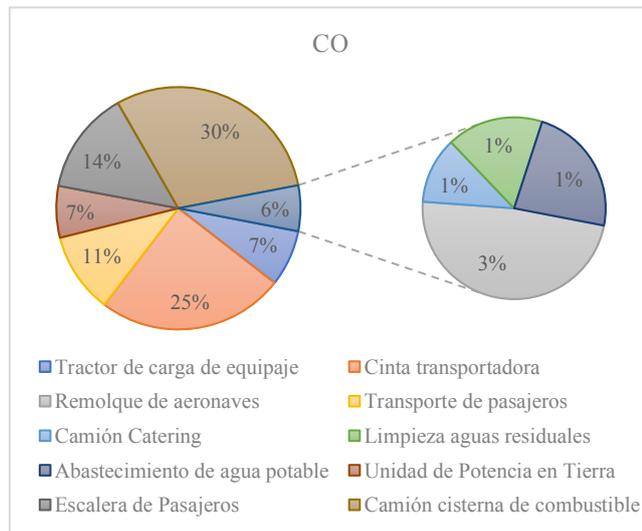


Fig. 30: Escenario 1 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

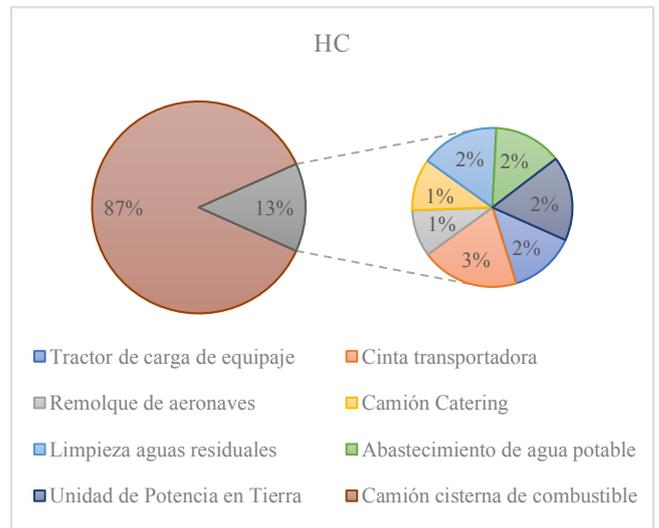


Fig. 33: Escenario 1 - Servicio Completo con uso de pasarela de embarque.

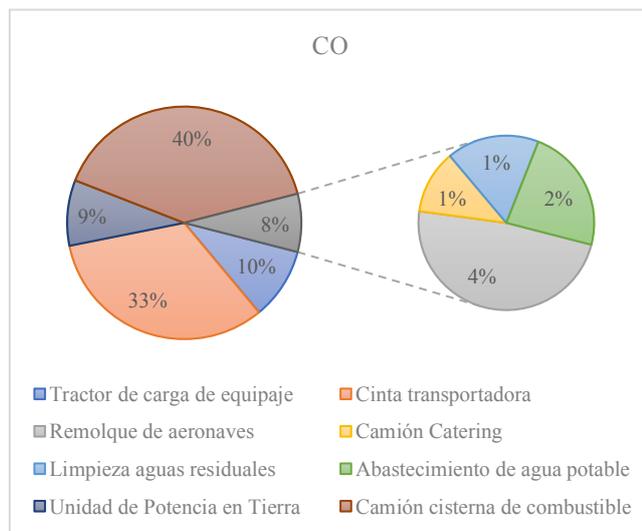


Fig. 31: Escenario 1 - Servicio Parcial con uso de pasarela de embarque.

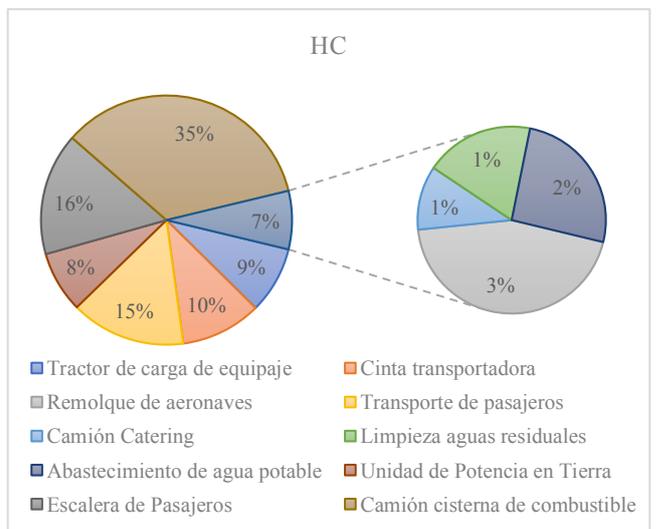


Fig. 34: Escenario 1 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

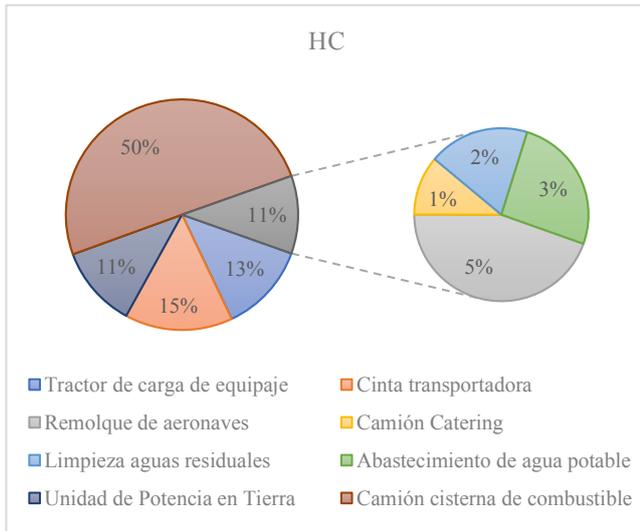


Fig. 35: Escenario 1 - Servicio Parcial con uso de pasarela de embarque.

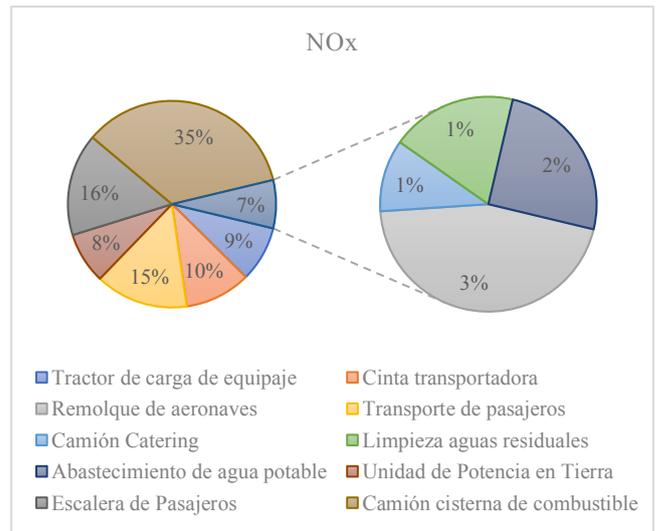


Fig. 38: Escenario 1 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

Óxidos de Nitrógeno

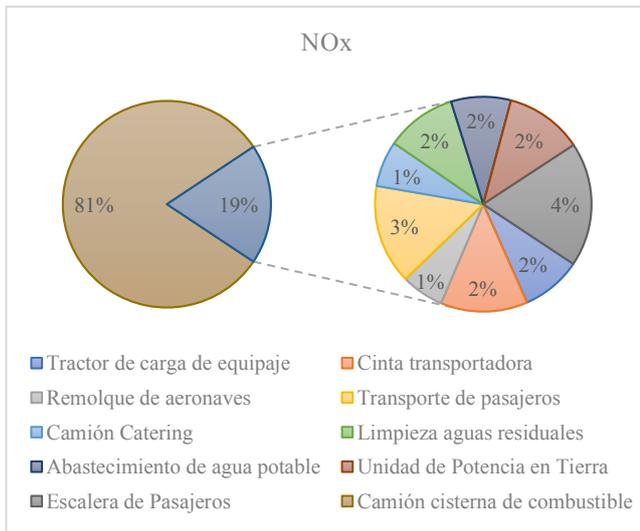


Fig. 36: Escenario 1 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

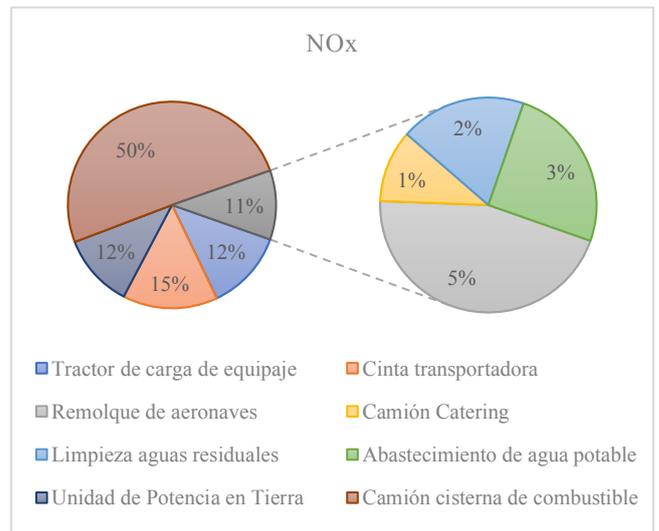


Fig. 39: Escenario 1 - Servicio Parcial con uso de pasarela de embarque.

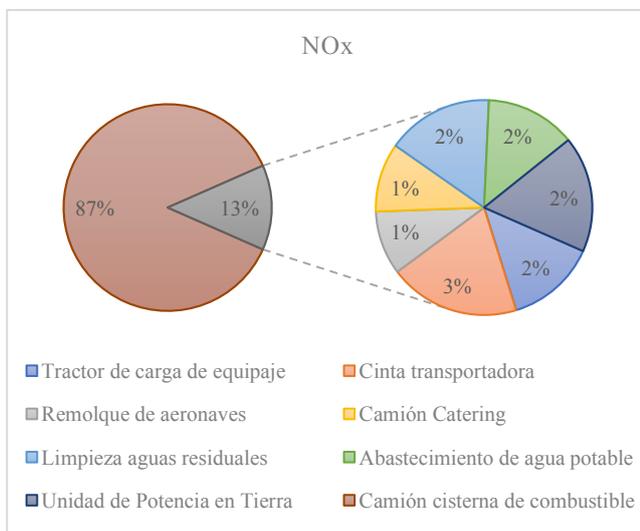


Fig. 37: Escenario 1 - Servicio Completo con uso de pasarela de embarque.

Aporte Contaminante Escenario 2 por fuentes de emisión en tipo de servicio Hidrocarburos

Monóxido de Carbono

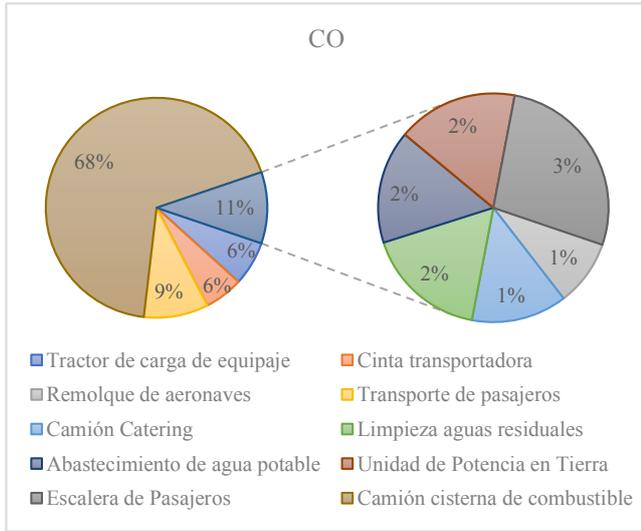


Fig. 40: Escenario 2 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

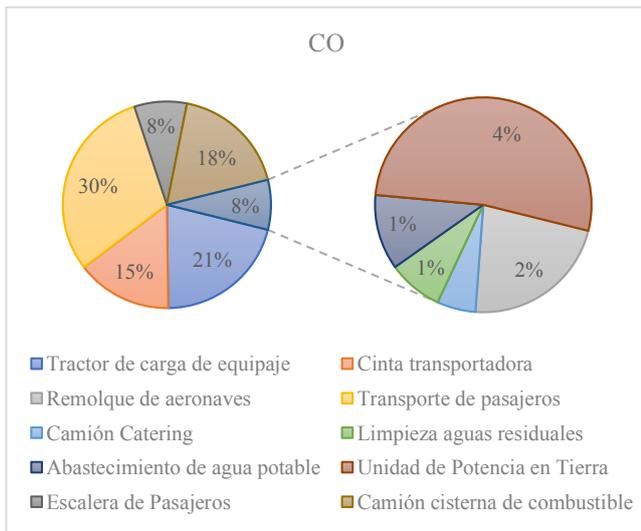


Fig. 41: Escenario 2 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

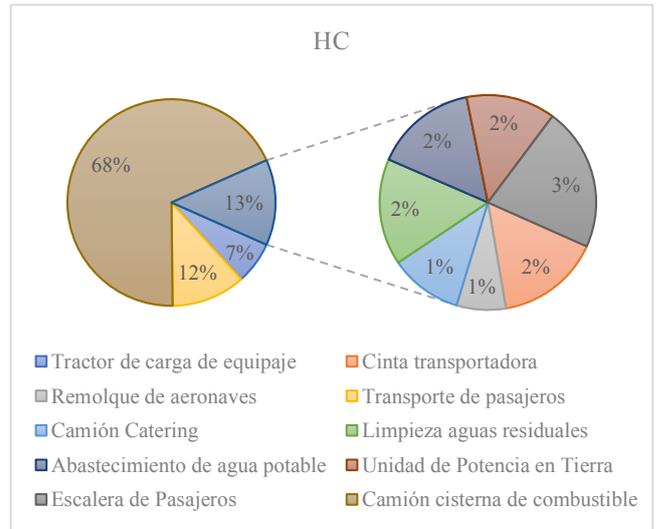


Fig. 42: Escenario 2 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

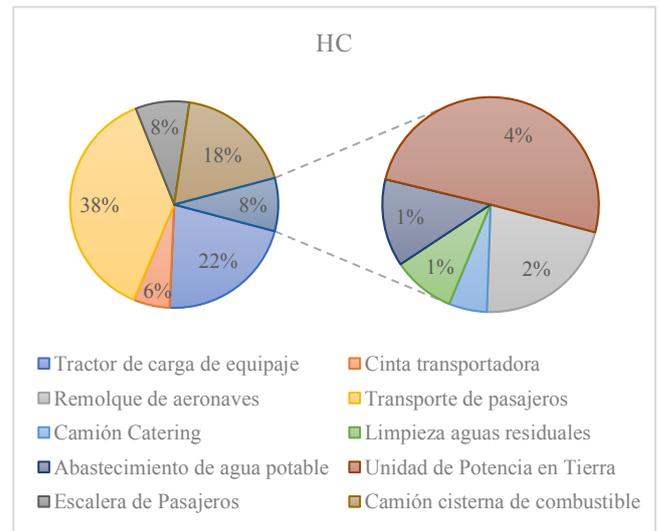


Fig. 43: Escenario 2 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

Óxidos de Nitrógeno

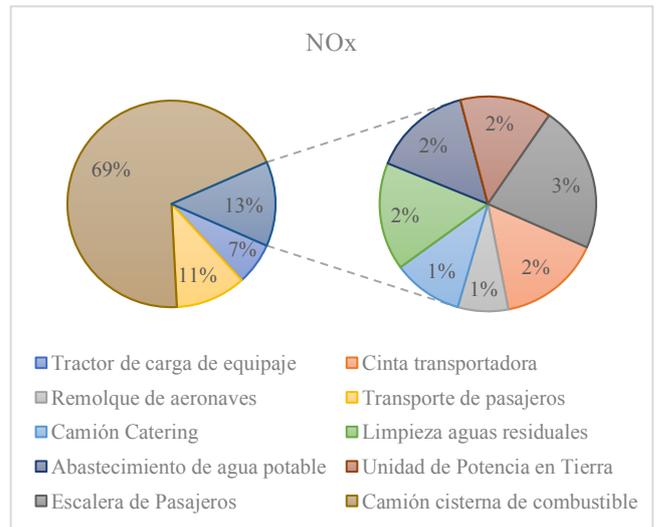


Fig. 44: Escenario 2 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

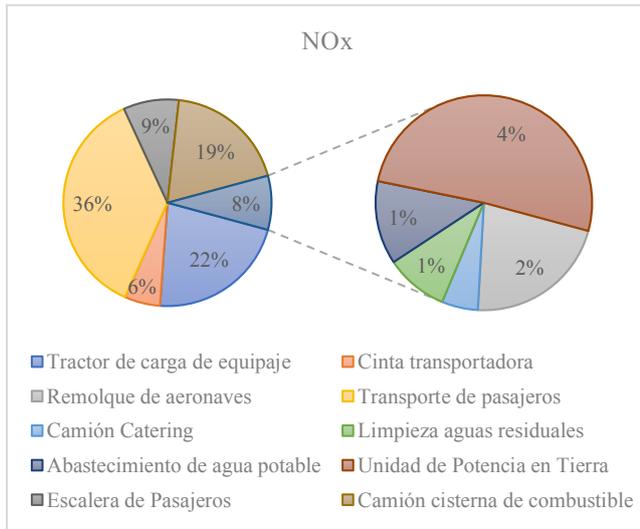


Fig. 45: Escenario 2 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

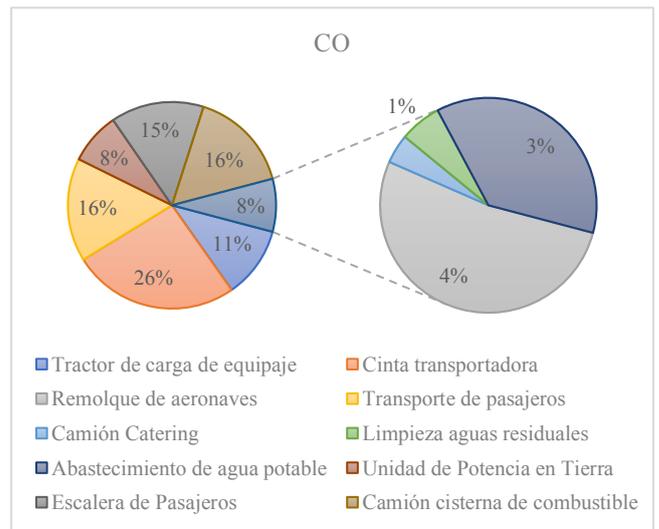


Fig. 47: Escenario 3 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

Aporte Contaminante Escenario 3 por fuentes de emisión en tipo de servicio

Monóxido de Carbono

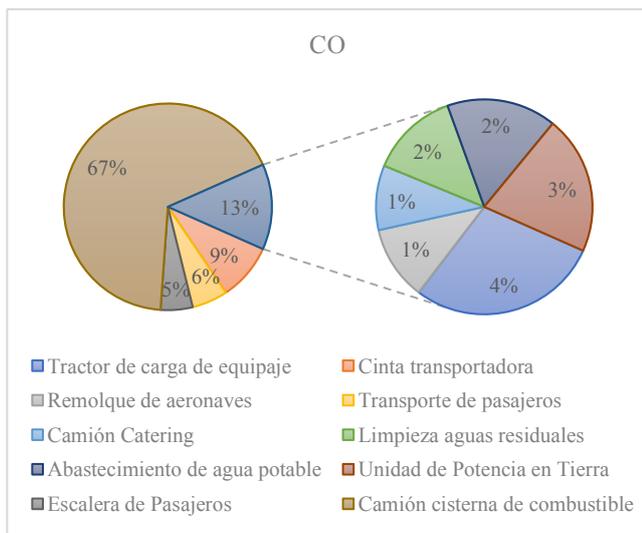


Fig. 46: Escenario 3 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

Hidrocarburos

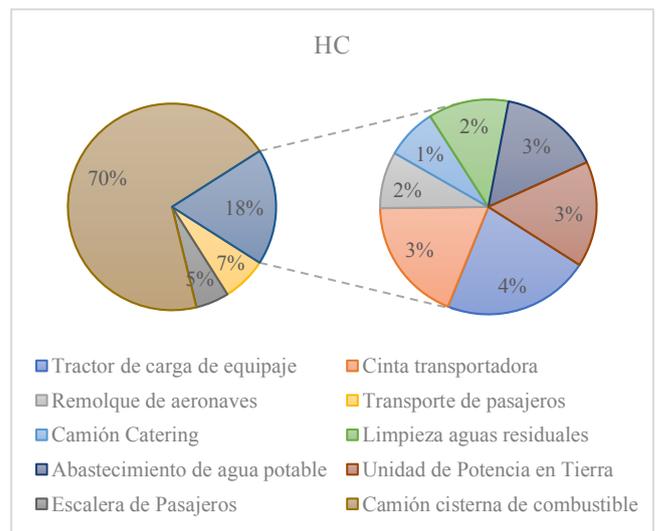


Fig. 48: Escenario 3 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

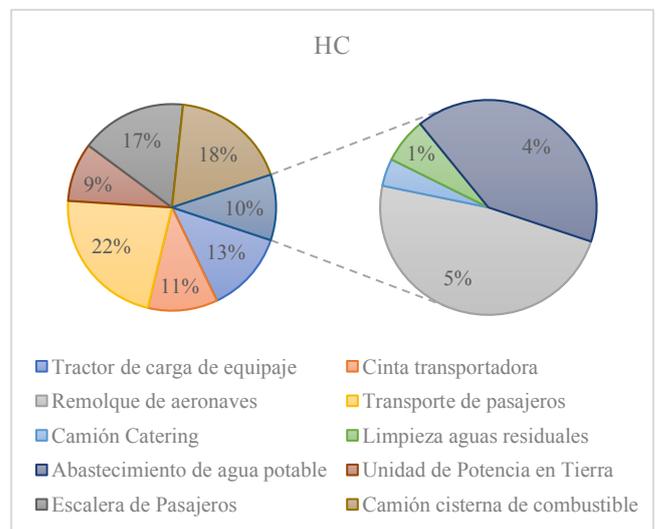


Fig. 49: Escenario 3 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

Óxidos de Nitrógeno

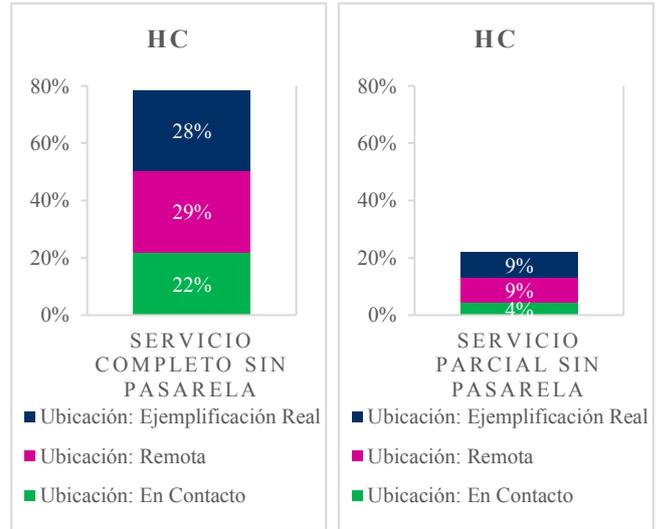
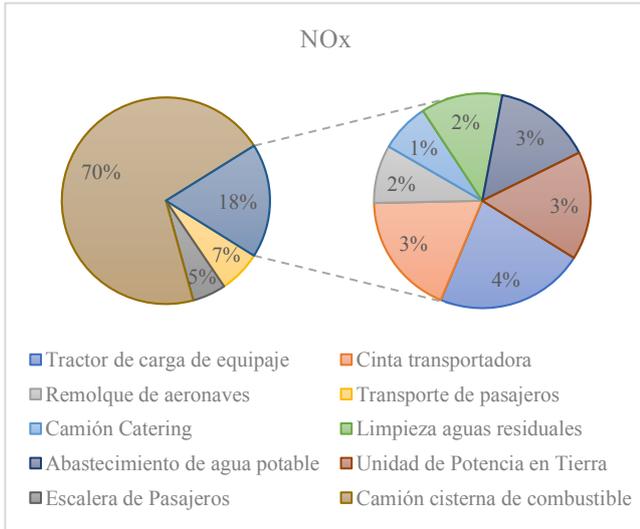


Fig. 50: Escenario 3 - Servicio Completo sin uso de pasarela de embarque.

Fig. 53: Variación de Hidrocarburos: Escenarios por tipo de servicio.

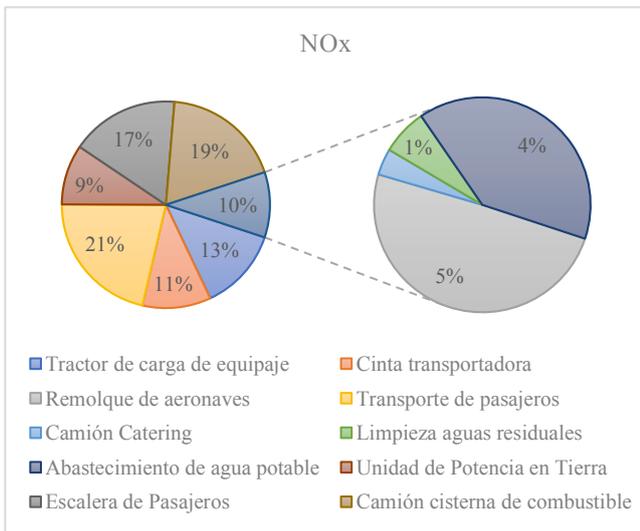


Fig. 51: Escenario 3 - Servicio Parcial sin uso de pasarela de embarque.

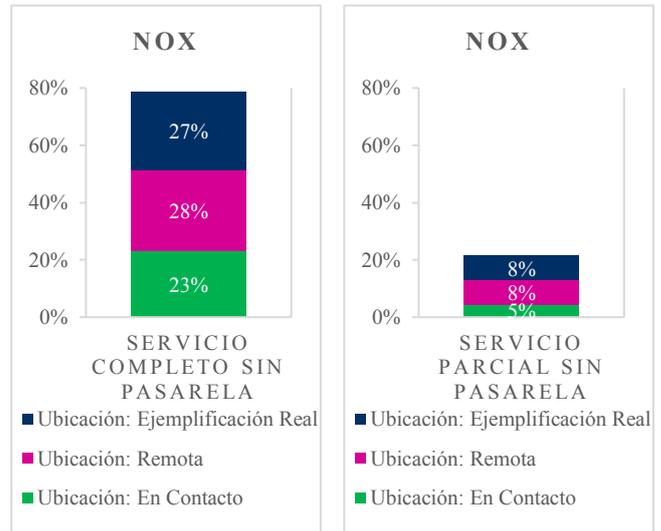


Fig. 54: Variación de Óxidos de Nitrógeno: Escenarios por tipo de servicio.

Aporte Contaminante Resultados Comparativos

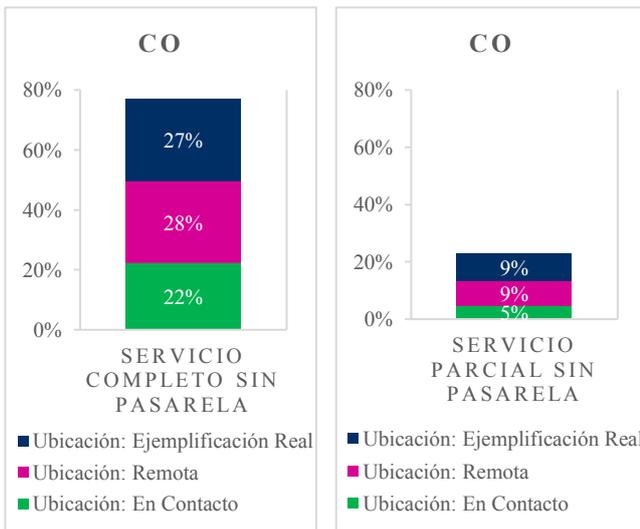


Fig. 52: Variación de Monóxido de carbono: Escenarios por tipo de servicio.

Consumo de combustible

Se puede calcular el rango del combustible consumido por la circulación de los equipos GSE en los distintos escenarios en el día de diseño, para ello se toma en cuenta los kilómetros transitados junto a otros factores asociados, como se muestra en la Tabla 21, según el tipo de servicio excluyendo el camión de carga de combustible.

TABLA 21: CONSUMO DE COMBUSTIBLE, FACTORES ASOCIADOS.

Variable	Datos	Especificación
C_{comb}	$240 \frac{g_{diésel}}{kw \cdot h}$	Consumo de combustible por potencia
P_{prom}	80 kw	Potencia promedio
$V_{máxctrc}$	$20 \frac{km}{h}$	Velocidad máxima de circulación
km_{tran}	-----	Kilómetros transitados por escenario
$\rho_{diésel}$	$0,832 \frac{kg}{litros}$	Densidad diésel

“En base a la ec. (3), se procede a calcular el combustible consumido para cada escenario evaluado”

$$\text{litros}_{comb} = C_{comb} \cdot P_{prom} \cdot \frac{1}{v_{m\acute{a}x\text{circ}}} \cdot \frac{km_{tran}}{1000} \cdot \frac{1}{\rho_{di\acute{e}sel}} \quad (3)$$

TABLA 22: COMBUSTIBLE CONSUMIDO POR ESCENARIO DE ESTUDIO.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
<i>litros_{comb}</i>	1.000 – 1.500	1.970 – 2.600	2.200 – 2.650

CONCLUSIONES

Sobre la metodología y cálculo

La estructura de la metodología permite identificar todos los parámetros iniciales necesarios para el cálculo, así se pueden relacionar las trayectorias de circulación de los distintos equipos GSE con sus procedimientos de traslado, tiempos de servicio y cantidad de vehículos necesarios. La aplicación de la metodología en un emplazamiento aeroportuario conocido permite validar el proceso para la realización del cálculo, esto quiere decir, que la metodología es una herramienta de cálculo aplicable en distintas configuraciones geométricas de plataformas de terminal de pasajeros en acuerdo con las hipótesis de cálculo planteadas.

La metodología cuenta con las siguientes fortalezas: la cantidad de escenarios de estudio pueden ser modificadas fácilmente lo que permite modelar emplazamientos aeroportuarios más complejos y con distintas terminales tanto de carga como de pasajeros; no existe limitaciones de cálculo respecto a la configuración geométrica de la plataforma; se pueden simular operaciones de asistencia en tierra para servicio completo y parcial, ambas con y sin uso de pasarela de embarque.

Con respecto a las limitaciones del cálculo se identifica la posibilidad de ejemplificar situaciones reales o específicas, pero no se pueden combinar distintos servicios de asistencia para un mismo escenario de estudio, la limitación se encuentra en que el servicio que se brinda a las aeronaves es una decisión de la aerolínea de acuerdo al tipo de vuelo el cual a falta de información requiere de un análisis más detallado.

Se dejó fuera del alcance el análisis del modelo de dispersión y concentración gaseosa debido a que los resultados representan una parte de todo el proceso de servicio a la aeronave, pero se decide no analizarlo sin antes saber qué porcentaje de emisiones representa la *circulación de los vehículos GSE* respecto del proceso completo, por lo que es necesario cuantificar las emisiones gaseosas del resto del proceso junto con las producidas por los motores de las aeronaves (en ciclo LTO).

Los escenarios de estudio no son hechos al azar, sino que se trata de evidenciar si los procedimientos de los vehículos GSE pueden ser óptimos para aprovechar el recurso material en plataforma y además lograr reducciones en las emisiones gaseosas respecto a estos vehículos.

Sobre los resultados

Los tres escenarios son comparables simultáneamente para los servicios completo y parcial sin uso de pasarela, en donde:

- El aporte contaminante gaseoso anualizado total es 4.070 kg de monóxido de carbono, 4.170 kg de hidrocarburos no quemados, 7.670 kg de óxidos de nitrógeno.
- Del monóxido de carbono el 77% del aporte contaminante se debe al servicio completo frente a un 23% para servicio parcial ambos sin uso de pasarela de embarque.
- De los hidrocarburos no quemados el 78% del aporte contaminante se debe al servicio completo frente a un 22% para servicio parcial ambos sin uso de pasarela de embarque.
- De los óxidos de nitrógeno el 79% del aporte contaminante se debe al servicio completo frente a un 21% para servicio parcial ambos sin uso de pasarela de embarque.
- En el Servicio Completo Sin Pasarela se distingue una reducción del aporte contaminante en el escenario 1 (En contacto) respecto del escenario 3 (Ejemplificación real) del 5% en el monóxido de carbono; del 6% en los hidrocarburos; y un 4% en los óxidos de nitrógeno.
- En el Servicio Parcial Sin Pasarela se distingue una reducción del aporte contaminante en el escenario 1 (En contacto) respecto del escenario 3 (Ejemplificación real): del 4% en el monóxido de carbono; del 5% en los hidrocarburos; y un 3% en los óxidos de nitrógeno.
- En relación al combustible consumido se identifica que el cálculo se encuentra en el orden de magnitud esperado por los datos reales del aeropuerto en análisis, donde, el consumo real es de 1.100 litros de diésel diarios; y el consumo cálculo se encuentra en el rango de 1.000 litros a 2.600 litros de diésel según el escenario que se analice. Esto se debe a la cantidad kilómetros transitados es distinto en cada escenario.

Si comparamos el tipo de servicio para un mismo escenario, la reducción del aporte contaminante es muy evidente:

- El aporte contaminante de monóxido de carbono se reduce si el servicio brindado es parcial sin uso de pasarela de embarque: el escenario 1 tiene una reducción de 17%; el escenario 2 una reducción del 19%; y el escenario 3 una reducción 18%.
- El resto de contaminantes gaseosos cumplen el mismo patrón de reducción que el monóxido de carbono.

Se puede identificar en detalle que fuente vehicular es la que más emisiones gaseosas genera en cada escenario de estudio. Es evidente, en los tres escenarios, que los vehículos GSE que mayor aporte contaminante gaseoso generan son los camiones cisterna de combustible para aeronaves, esto se debe a que las distancias de traslado en plataforma son mayores en comparación con el resto de los equipos GSE. Además, se distinguen los vehículos de mayor emisión gaseosa respecto de los tipos de servicio o asistencia a la

5° Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica - CAIA 2018

aeronave, en donde, se destacan entre los más contaminantes: transporte de pasajeros, cinta transportadora, escalera de pasajeros (tractores que los trasladan en plataforma).

La practicidad de presentación de resultados facilita la identificación de las fuentes que mayor aporte contaminante generan en las cuales hay que enfocar las medidas de mitigación respectivas.

De manera general se puede concluir que la asignación de puestos de aeronaves en contacto con la terminal de pasajeros es el mejor escenario para la reducción de emisiones gaseosas y por lo tanto el escenario que mayor aprovechamiento del recurso en plataforma presenta. El peor escenario debido a la cantidad de aporte contaminante es aquel en el cual la asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves se realiza todos con ubicación remota a la terminal de pasajeros.

APÉNDICES

Detalles técnicos

TABLA 23: FACTORES DE EMISIÓN PARA VEHÍCULOS DE CIRCULACIÓN FUERA DE RUTA – RANGO DE POTENCIAS. FUENTE: EPA.

HP min	HP máx	Año	CO g/(hp.hs)	HC g/(hp.hs)	NOx g/(hp.hs)
0	11	2013	4.110	0.550	4.300
11	16	2013	2.160	0.440	4.440
16	25	2013	2.160	0.440	4.440
25	50	2013	0.230	0.130	3.000
50	75	2010	2.370	0.180	3.000
50	75	2013	0.360	0.130	3.000
75	100	2010	3.620	0.190	3.130
75	100	2012	0.360	0.130	3.000
75	100	2014	0.360	0.130	0.280
100	175	2012	0.130	0.130	2.500
100	175	2014	0.130	0.130	0.280
175	300	2011	0.110	0.130	2.500
175	300	2014	0.110	0.130	0.280
300	600	2011	0.130	0.130	2.500
300	600	2014	0.130	0.130	0.280

HP min	HP máx	Año	CO g/(hp.hs)	HC g/(hp.hs)	NOx g/(hp.hs)
600	750	2011	0.200	0.130	2.500
600	750	2014	0.200	0.130	0.280

TABLA 24: COEFICIENTES DE CORRECCIÓN PARA FACTOR DE DETERIORO. VEHÍCULOS DE CIRCULACIÓN FUERA DE RUTA – RANGO DE POTENCIAS. FUENTE: EPA.

HP min	HP máx	Año	CO		HC		NOx	
			A	b	A	b	A	b
0	11	2013	0.15	1	0.027	1	0.008	1
11	16	2013	0.15	1	0.027	1	0.008	1
16	25	2013	0.15	1	0.027	1	0.008	1
25	50	2013	0.15	1	0.027	1	0.008	1
50	75	2010	0.15	1	0.027	1	0.008	1
50	75	2013	0.15	1	0.027	1	0.008	1
75	100	2010	0.15	1	0.027	1	0.008	1
75	100	2012	0.15	1	0.027	1	0.008	1
75	100	2014	0.15	1	0.027	1	0.008	1
100	175	2012	0.15	1	0.027	1	0.008	1
100	175	2014	0.15	1	0.027	1	0.008	1
175	300	2011	0.15	1	0.027	1	0.008	1
175	300	2014	0.15	1	0.027	1	0.008	1
300	600	2011	0.15	1	0.027	1	0.008	1
300	600	2014	0.15	1	0.027	1	0.008	1
600	750	2011	0.15	1	0.027	1	0.008	1
600	750	2014	0.15	1	0.027	1	0.008	1

REFERENCIAS

- [1] Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, (2017), *Normativa de seguridad en plataforma*, 10th ed. AENA, Dirección de Operaciones, Seguridad y Servicios, Madrid.
- [2] Airbus S.A.S, (2005), *Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning*, Blagnac.
- [3] Boeing, (2013), *Airplane Characteristics for Airport Planning*. Boeing Commercial Airplanes.

5° Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica - CAIA 2018

- [4] Embraer S.A. (2015), *Embraer 190 Airport Planning Manual*, 13th ed., no. APM-1901. Sao Jose Dos Campos.
- [5] Federal Aviation Administration F.A.A. (2015), *Aviation Emissions, Impacts & Mitigation: A Primer*. Office of Environment and Energy.
- [6] Fleuti E. (2014), *Aircraft Ground Handling Emissions Methodology and Emission Factors Zurich Airport*, Zurich.
- [7] Gierasimiuk M., Mascolo C. y Petrocco G. (2015), *Manual de Operaciones de Rampa*, 7th ed. Aerolíneas Argentinas, Buenos Aires.
- [8] International Civil Aviation Organization (2011), *Doc 9889, Airport Air Quality Manual, 1st ed., vol. 1*, Montreal.
- [9] Sequeira et al (2015), *Aviation Emissions and Air Quality Handbook Version 3*, Washington.
- [10] Sznajderman L., J. I. D'Iorio, M. Coppa, and Di Bernardi A. (2017), *Análisis comparativo de las metodologías de cálculo del aporte contaminante gaseoso en los aeropuertos debido a las operaciones de los vehículos de asistencia a la aeronave*, Jornadas Investig. Transf. y Extensión, no. 4, pp. 144–150. Argentina.
- [11] Tinseth (2017), *Current Market Outlook - 2017-2036*, Boeing Commercial Airplanes Market Analysis, Seattle.
- [12] Transport Research Board (2015), *Improving Ground Support Equipment Operational Data for Airport Emissions Modeling*, Airport Cooperative Research Program, ACRP, Washington.
- [13] Unzalu (2012), *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*, Ihobe S.A, Bilbao.