

## **ESTUDIO DEL APORTE GASEOSO POR OPERACIÓN DE AERONAVES VERSUS LA ASISTENCIA DE GSE EN RODAJE A CABECERA**

**JUAN IGNACIO D'LORIO<sup>1</sup>, LUAS SZNAJDERMAN<sup>1,2</sup>, MATÍAS COPPA<sup>1</sup>, ALEJANDRO DI BERNARDI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Grupo Transporte Aéreo – UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Pcia Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup>CIC (Comisión de Investigaciones científicas), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación

### **RESUMEN**

Se plantea la realización de una comparativa de emisiones gaseosas para diferentes aeronaves, en distintas condiciones de rodaje (1 o todos los motores), y utilizando el APU y un GPU alternativamente en el tiempo en plataforma. Se establece un escenario operativo, teniendo en cuenta los tiempos de rodaje desde y hacia una cabecera definida en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza, y con los condicionamientos antes mencionados.

Para efectuar el análisis, se eligen diferentes aeronaves y, teniendo en cuenta las distintas configuraciones propuestas, se obtienen las estimaciones de gases contaminantes mediante índices obtenidos de diferentes bases de datos y/o publicaciones.

El objetivo del trabajo es ponderar la cantidad de gases contaminantes obtenidos con diferentes escenarios, para poder determinar formas de operación que reduzcan las emisiones.

El presente estudio se encuentra encolumnado con los objetivos del Comité de Protección Ambiental Aeronáutica (CAEP), conformado por la Organización de aviación civil internacional (OACI), y particularmente con los del Grupo de Trabajo 3 (WG3) centrados en la mitigación de las emisiones gaseosas.

### **SUMMARY**

A comparative emissions scenarios are presented, according to different types of aircraft, taxing conditions (one or all engines on), and using of GPU or APU in apron. A condition is set: an apron position and a runway is selected in Ezeiza International Airport, in order to determine the distance and time associated with the taxing out, and therefore, the emissions produced.

Different aircraft are chosen and, with some restrains, emissions are estimated taken into account information from other publications and databases.

The main objective is to weigh the quantity of emissions with different conditions, in order to propose mitigation methods.

This work is in accordance with the ICAO's Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP).

Palabras claves: ciclo LTO, contaminación, aeropuerto, operaciones.

## INTRODUCCIÓN

La actividad aérea, como consecuencia intrínseca de su funcionamiento, emite una serie de gases que resultan, en mayor o menor medida, contaminantes. Si bien no son exclusivos de las aeronaves, y su participación en el global emitido por el resto de las actividades humanas es relativamente pequeño (entre 2 y 3%) [1], el crecimiento constante de las operaciones aéreas deviene en una preocupación con respecto a la cantidad y forma de contaminación. Debe entenderse que la contaminación derivada de la actividad aérea se manifiesta tanto por la operación de aeronaves, como todos los componentes adicionales que la misma conlleva, es decir, vehículos de asistencia a las mismas, generadores de energía eléctrica para las terminales, vehículos relacionados con el transporte de pasajeros, entre otros.

A modo ilustrativo, se incluye a continuación una tabla en donde se indican los porcentajes de emisiones en función de la fuente en un aeropuerto [2]:

% Aeronaves	% GSE/APU	% Accesos	% Estacionamiento	% Fuentes estacionarias y extinción de incendios
59,09	25,57	5,43	4,08	5,83

Tabla 1. Porcentaje de emisión global de contaminantes según fuente de emisión.

De forma esquemática, se presentan a continuación las distintas fuentes de emisiones gaseosas en un aeropuerto:

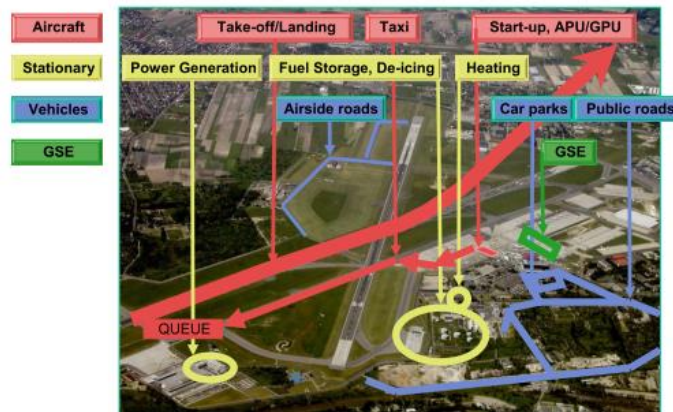


Figura 1. Fuente típicas de emisiones en un aeropuerto.

Dentro de los vehículos de asistencia (GSE-Ground Support Equipment) se incluyen todos los equipos de servicio en tierra y los vehículos asociados con los movimientos de la aeronave en la plataforma. En este trabajo en particular nos centraremos en la utilización del GPU (Ground Power Unit) vs. el APU (Auxiliary Power Unit).

## Metodología E Hipótesis

Para el caso de este trabajo se plantean dos análisis independientes: emisiones gaseosas derivadas del rodaje de las aeronaves desde plataforma a cabecera de pista, con uno o todos los motores en funcionamiento, y la diferencia entre las emisiones gaseosas por el uso de un GPU y el APU durante la estancia de la aeronave en plataforma. El aeropuerto seleccionado para este trabajo es el Ministro Pistarini de Ezeiza.

El proceso inicial para el cálculo se detalla a continuación:

- Elección de un día operativo tipo.
- Determinación de los movimientos de aeronaves del día seleccionado.
- Análisis de la flota y determinación de la motorización de cada aeronave.
- Selección de puesto de estacionamiento en plataforma y cabecera a utilizar.
- Determinación del tiempo de permanencia en plataforma de cada aeronave.
- Determinación de las emisiones: GPU vs. APU.
- Determinación de las emisiones en rodaje desde plataforma hasta cabecera.

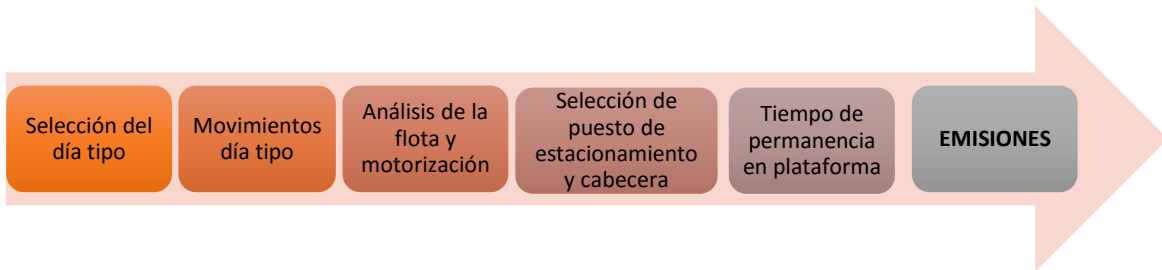


Figura 2. Proceso lógico de trabajo para determinar la cantidad de emisiones.

Como se citó anteriormente, el aeropuerto elegido para este estudio es el Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini de Ezeiza. A continuación se muestran algunos datos relevantes del mismo [3,4]:

- 2 pistas operativas: 11-29 3.300 x 60 m y 17-35 3.105 x 45 m.
- 68.839 vuelos, de los cuales 62.349 fueron de pasajeros, lo que representa el 90,57% del total.
- 9.831.127 pasajeros; 90,65% internacionales, 7,39 domésticos y 1,96% en tránsito.
- 193.490 toneladas de carga.



Figura 3. Vista aérea del Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini de Ezeiza y su plataforma aerocomercial de pasajeros.

## Análisis de los movimientos de aeronaves

Como se mencionó anteriormente, se eligió un día operativo tipo en el aeropuerto (mes de julio de 2017). Del procesamiento de los datos provistos por el concesionario del mismo [5] se caracterizó un día tipo de la siguiente manera:

Modelo de Aeronave	Cantidad	Motorización
A-319 100	2	CFM56-5B5/3 - CFM56-5B6/P
A-321 200	3	CFM56-5B3/P - IAE V2533-A5
A-320 200	7	CFM56-5B4/P - IAE V2527-A5 - IAE V2527E-A5
A-330 200	6	GE CF6-80E1A3 - GE CF6-80E1A4 - PW4168A - RR Trent 772B-60
A-340 300	2	CFM56-5C4
A-340 600	2	RR Trent 556-61 - RR Trent 556A2-61
B-727 200	2	JT8D-17A
B-737 700	2	CFM56-7B22 - CFM56-7B24
B-737 800	15	CFM56-7B - CFM56-7B26 - CFM56-7B27
B-747 400	1	GE CF6-80C2B5F
B-747 800	1	GE90-2B67
B-767 300	4	GE CF6-80C2B7F
B-777 200	7	GE GE90-94B - GE90-110B1L - GE90-90B2 - GE90-92B - RR Trent 892 -
B-777 300	4	GE90-115B
B-787 800	1	GE90-115B
B-787 900	3	RR Trent 1000
E-190	12	GE CF34-10E6
E-195	2	GE CF34-10E7

Tabla 2. Modelos, cantidades y motorizaciones de las aeronaves.

Los distintos tipos de motores que equipan a cada aeronave se obtuvieron con su correspondiente matrícula de una base de datos disponible en la web [6].

Se eligió arbitrariamente el puesto de estacionamiento “2” en la plataforma comercial, y la cabecera “11” para determinar la distancia a recorrer por las aeronaves. En la siguiente figura se visualizan ambos.

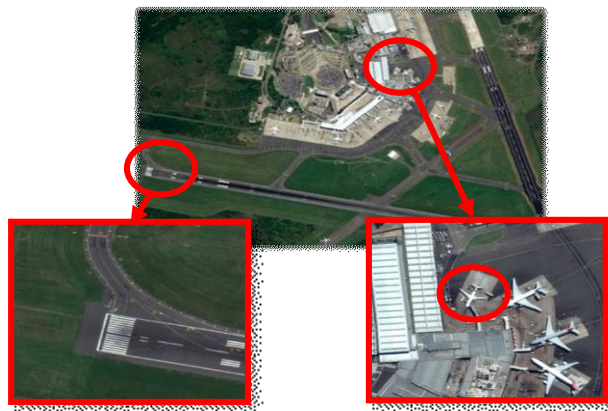


Figura 4. Vista del puesto de la cabecera 11.

de estacionamiento “2” y

A continuación se determinó la distancia a recorrer por una aeronave que es puesta en el centerline de la plataforma comercial a la altura correspondiente al puesto de estacionamiento "2", hasta la barra de parada correspondiente a la cabecera 11. La misma es de aproximadamente 2.085 m.



Figura 5. Camino desde el centerline correspondiente al puesto "2" y la barra de parada de la pista 11.

Como paso siguiente, se determinó el tiempo de permanencia en plataforma. Se consideró que todas las aeronaves que arribaron al aeropuerto se retiran el mismo día, para considerar una emisión "promedio" en una ventana temporal de 24 horas. Si bien no pueden superponerse temporalmente aeronaves en el puesto "2" de estacionamiento, se considera que todas ingresan y egresan de esa posición para poder realizar los cálculos. Teniendo en cuenta estas premisas, se obtienen los siguientes tiempos de permanencia para cada aeronave:

Aeronave	Tiempo de permanencia	Aeronave	Tiempo de permanencia	Aeronave	Tiempo de permanencia
A-319 100	00:48:00	B-737 800	02:59:00	B-777 200	17:46:00
A-319 100	00:44:00	B-737 800	03:44:00	B-777 200	11:13:00
A-321 200	01:50:00	B-737 800	04:55:00	B-777 300	02:34:00
A-321 200	01:30:00	B-737 800	03:35:00	B-777 300	12:42:00
A-321 200	01:08:00	B-737 800	01:16:00	B-777 300	02:21:00
A-320 200	01:11:00	B-737 800	01:48:00	B-777 300	02:32:00
A-320 200	01:49:00	B-737 800	05:12:00	B-777 300	02:03:00
A-320 200	01:25:00	B-737 800	09:10:00	B-787 800	06:06:00
A-320 200	00:56:00	B-737 800	08:25:00	B-787 900	01:55:00
A-320 200	09:50:00	B-737 800	01:12:00	B-787 900	01:18:00
A-320 200	01:34:00	B-737 800	01:02:00	B-787 900	08:36:00
A-320 200	01:25:00	B-737 800	05:48:00	E-190	01:32:00
A-330 200	09:48:00	B-737 800	05:03:00	E-190	10:59:00
A-330 200	06:13:00	B-737 800	03:02:00	E-190	09:45:00
A-330 200	05:11:00	B-737 800	00:54:00	E-190	02:49:00
A-330 200	05:04:00	B-747 400	02:46:00	E-190	01:42:00
A-330 200	02:13:00	B-747 800	10:51:00	E-190	11:54:00
A-330 200	02:23:00	B-767 300	01:40:00	E-190	01:39:00
A-340 300	04:29:00	B-767 300	01:41:00	E-190	10:09:00
A-340 300	05:46:00	B-767 300	02:50:00	E-190	01:29:00
A-340 600	05:07:00	B-767 300	03:00:00	E-190	01:30:00
A-340 600	02:10:00	B-777 200	02:09:00	E-190	09:05:00
B-727 200	01:33:00	B-777 200	06:15:00	E-190	11:42:00
B-727 200	01:59:00	B-777 200	08:51:00	E-195	01:00:00
B-737 700	09:00:00	B-777 200	05:47:00	E-195	05:05:00
B-737 700	09:42:00	B-777 200	14:24:00	-	-

Tabla 3. Tiempos de permanencia en plataforma.

Para realizar los cálculos de emisiones del GPU y APU se consideran 4 horas como tiempo máximo de energización, a carga máxima, por lo que a las aeronaves que permanezcan más tiempo se acotarán a este último. Esto tiene su fundamento en que en muchos casos las aeronaves que permanecen varias horas en el aeropuerto son removidas de la posición asignada en la plataforma, en función de la demanda de la misma.

### CALCULOS REALIZADOS

En función de las hipótesis planteadas anteriormente, se calcularon las emisiones de los GPU y APU de la siguiente forma:

- $E_{GPU} = f_e \cdot C_c \cdot t$

En donde  $f_e$  es el factor de emisión para cada gas. En este caso  $f_e = 24 \frac{g NO_x}{kg comb}$  y  $f_e = 4 \frac{g CO}{kg comb}$ ; estos valores fueron obtenidos de [7].  $C_c$  es el consumo de combustible, que para el común de los motores que equipan los GPU es de 40 lt/h a carga máxima.  $t$  es el tiempo de operación.

- $E_{APU} = f_e \cdot C_c \cdot t$

Es decir, se calcula de la misma manera. En este caso existen dos factores de emisiones y consumos de combustibles diferentes, en función del tamaño de la aeronave [8]:  $f_{e_{grande}} = 5,39 \frac{g NO_x}{kg comb}$ ;  $f_{e_{mediana}} = 9,8 \frac{g NO_x}{kg comb}$ ;  $f_{e_{grande}} = 8,44 \frac{g CO}{kg comb}$ ;  $f_{e_{mediana}} = 2,74 \frac{g CO}{kg comb}$ ;  $C_{c_{grande}} = 435,9 \frac{kg comb}{h}$ ;  $C_{c_{mediana}} = 192,25 \frac{kg comb}{h}$ .

Se presentan a continuación los datos obtenidos para cada aeronave, con la suma de sus correspondientes tiempos en plataforma, para el día elegido:

Aeronave	Tiempo total en plataforma	CO - APU	CO - GPU	NOx - APU	NOx - GPU
A-319 100	01:32:00	33,65	8,59	120,37	51,52
A-321 200	04:28:00	98,04	25,01	350,64	150,08
A-320 200	12:20:00	270,70	69,07	968,19	414,40
A-330 200	20:36:00	3.157,80	115,36	2.016,66	692,16
A-340 300	08:00:00	1.226,33	44,80	783,17	268,80
A-340 600	06:10:00	945,30	34,53	603,69	207,20
B-727 200	03:32:00	77,55	19,79	277,37	118,72
B-737 700	08:00:00	175,59	44,80	628,02	268,80
B-737 800	19:32:00	955,49	243,79	3.417,46	1.462,72
B-747 400	02:46:00	424,11	15,49	270,85	92,96
B-747 800	04:00:00	613,17	22,40	391,58	134,40
B-767 300	09:11:00	1.407,73	51,43	899,01	308,56
B-777 200	02:09:00	4.008,57	146,44	2.559,98	878,64
B-777 300	13:30:00	2.069,44	75,60	1.321,59	453,60
B-787 800	06:06:00	935,08	34,16	597,16	204,96
B-787 900	07:13:00	1.106,25	40,41	706,48	242,48
E-190	10:41:00	761,25	194,23	2.722,71	1.165,36
E-195	06:05:00	133,52	34,07	477,55	204,40
<b>TOTALES</b>		<b>18.399,57</b>	<b>1.219,96</b>	<b>19.112,49</b>	<b>7.319,76</b>

Tabla 4. Valores en gramos de CO y NOx por la operación del APU vs GPU.

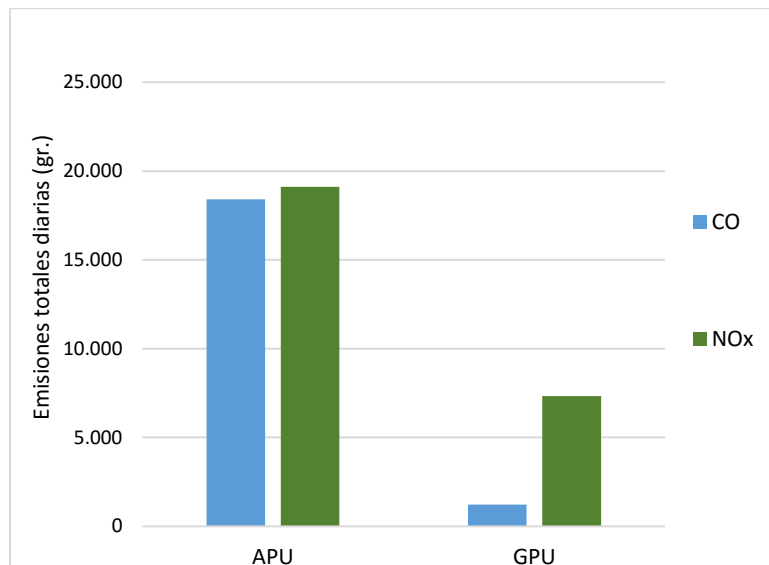


Figura 6. Emisiones totales en el día de CO y NOx, en gramos.

Luego se calcularon las emisiones derivadas de la operación de los motores en el rodaje. En este caso, se plantea:

$$E_{rodaje} = f_e \cdot f_c \cdot t \cdot N$$

En donde  $f_e$  es el factor de emisión para cada contaminante y cada motor y  $f_c$  es el flujo de combustible; estos valores se obtienen de los datos de certificación de los motores [9];  $t$  es el tiempo que tarda la aeronave desde el *centerline* correspondiente a la posición "2" hasta la barra de parada de la cabecera 11. Como la velocidad de rodaje no es constante (se considera entre 10 y 20 nudos), se aproxima calculando los primeros 200 m a una velocidad de 10 nudos, y la distancia restante (1.885 m) a 20 nudos; el tiempo por lo tanto es de 222,08 segundos.  $N$  es la cantidad de motores que posee la aeronave.

Se presentan a continuación los datos obtenidos para cada aeronave, con todos los motores encendidos en el rodaje, y con solo uno:

Aeronave	Cantidad de operaciones	CO – Todos los motores	NOx - Todos los motores	CO – Un motor	NOx – Un motor
A-319 100	2	2.900,31	328,03	1.450,15	164,01
A-321 200	3	2.525,50	797,38	1.262,75	398,69
A-320 200	8	5.321,07	1.801,90	2.660,54	900,95
A-330 200	6	16.650,91	2.924,97	8.325,45	1.462,49
A-340 300	2	6.814,12	942,92	1.703,53	235,73
A-340 600	2	4.208,94	2.529,45	1.052,24	632,36
B-727 200	2	2.326,08	597,39	775,36	199,13
B-737 700	2	2.128,46	422,89	1.064,23	211,45
B-737 800	15	14.089,92	3.572,72	7.044,96	1.786,36
B-747 400	1	3.193,31	898,52	798,33	224,63
B-747 800	1	3.636,14	850,03	909,04	212,51
B-767 300	4	6.643,45	1.734,80	3.321,73	867,40
B-777 200	7	25.843,25	5.424,79	12.921,62	2.712,39
B-777 300	5	33.005,74	4.379,95	16.502,87	2.189,97
B-787 800	1	2.133,08	325,27	1.066,54	162,64
B-787 900	3	2.756,97	1.705,34	1.378,48	852,67
E-190	12	22.377,16	1.571,50	11.188,58	785,75
E-195	2	3.441,52	283,64	1.720,76	141,82
<b>TOTALES</b>		159.995,93	31.091,50	75.147,16	14.140,95

Tabla 5. Valores en gramos de CO y NOx emitidos por el rodaje de las aeronaves.



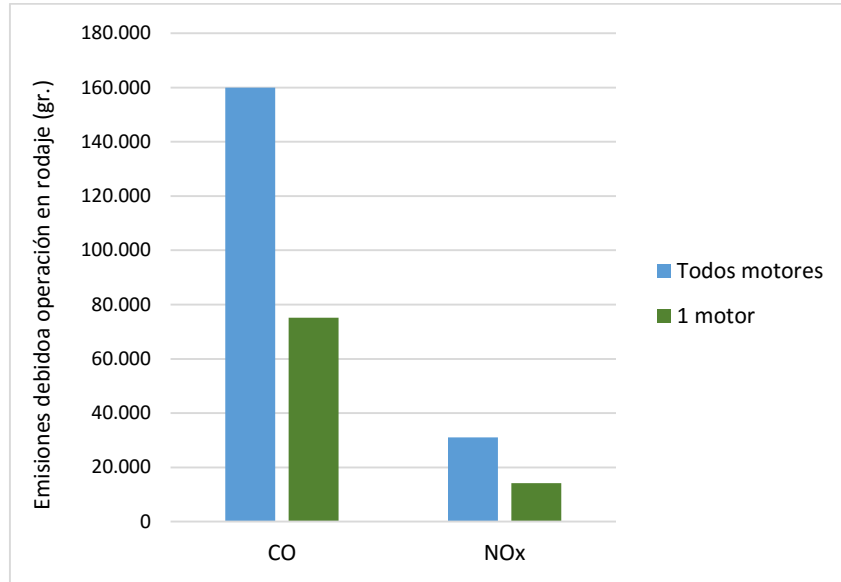


Figura 7. Emisiones por el rodaje de las aeronaves.

## CONCLUSIONES

Se obtuvieron los valores de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno para un día tipo de operación en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza, en relación al rodaje de las aeronaves desde plataforma hasta cabecera de pista (una condición particular) y la operación de elementos auxiliares para proveer de energía a la aeronave en plataforma.

Como puede apreciarse en la Tabla 4 y la Figura 6, las emisiones producidas por la utilización de los GPU son considerablemente menores que por el uso del APU. Tomando como unidad estas últimas (18.399,57 g de CO y 19.112,49 g de NOx), el CO emitido por los GPU representa sólo el 6,63% (1.219,96 g), mientras que el NOx representa el 38,30% (7.319,76 g).

Con respecto a las emisiones producidas por el rodaje de las aeronaves, es evidente la reducción haciéndolo con un solo motor. Considerando como unidad los valores totales para todos los motores (159.995,93 g de CO y 31.091,50 g NOx), el rodaje con un solo motor representa el 46,97% (75.147,16 g) de CO y el 45,48% de NOx (14.140,95 g).

Si bien este trabajo es un ejercicio con una fuerte componente teórica, es decir, al restringir la posición y cabecera en uso, entre otras hipótesis, y se hace impracticable la implementación directa, sirve para cuantificar las reducciones en emisiones de CO y NOx con medidas relativamente simples. Para obtener, igualmente, los valores reales de reducción, se debe plantear el o los escenarios representativos de operación en el aeropuerto; esto conlleva un trabajo más extenso y la obtención de información considerada sensible, pero realizable. Obtenidos esos valores se puede concluir acerca de las medidas propuestas en este trabajo para la disminución de las emisiones contaminantes.

## REFERENCIAS

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO), "2013 Environmental Report : 'Destination Green,'" 2013.
- [2] S. O. Alba and M. Manana, "Energy research in airports: A review," *Energies*, vol. 9, no. 5, pp. 1–19, 2016.
- [3] "Datos Clave 2016, Ezeiza", Organismo Regulador del Sistema Nacional Aeroportuario, Ministerio de Transporte, Presidencia de la Nación.
- [4] "Estadística del SNA - 2016", Organismo Regulador del Sistema Nacional Aeroportuario, Ministerio de Transporte, Presidencia de la Nación.
- [5] <http://www.aa2000.com.ar>
- [6] <https://www.airfleets.es>
- [7] Emanuel Fleuti, *Aircraft Ground Handling Emissions, Methodology and Emission Factors Zurich Airport*, 2014.
- [8] Emanuel Fleuti, Peter Hofmann, *Aircraft APU Emissions at Zurich Airport*, 2005.
- [9] ICAO Aircraft Engine Emissions Databank.