



6° Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica VIRTUAL

17, 18 y 19 de Noviembre del 2021



Modelos para representar los tiempos en servicio de los vehículos de asistencia a las aeronaves

L. Sznajderman^(1,2), M. Coppa¹⁽¹⁾, A. Di Bernardi²⁽¹⁾

⁽¹⁾ 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.

⁽²⁾ CIC (Comisión de Investigaciones Científicas), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Autor principal: lucas.sznajderman@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: modelo estadístico, tiempos de servicio, vehículos de asistencia.

El crecimiento de la actividad aeronáutica a nivel mundial provoca un directo aumento en los niveles de demanda aeroportuaria. Según datos publicados en la página oficial de la OACI, en 2018 el número total de pasajeros transportados en servicios regulares aumentó 6,4% respecto del año anterior ascendiendo a 4.300 millones.

Siendo la actividad aeronáutica el modo de transporte que presenta mayor crecimiento a nivel global, es necesario acciones que permitan impulsar soluciones para lograr una sostenibilidad de la actividad acorde a los requerimientos internacionales.

Los tipos de impacto ambiental del transporte aéreo se pueden clasificar como de efecto local (ruido, contaminación de aire local, uso de espacio), o de efecto global (consumo de materiales no renovables, aportación al cambio climático). La gestión del impacto ambiental comprende, además de medidas de reducción técnicas, diversas posibilidades económicas, que utilizan mecanismos de mercado, tales como acuerdos voluntarios entre administración, operadores y consumidores, o cualquier combinación de ellos, impuestos y tasas, comercio de emisiones) [1].

La contaminación de aire local en un aeropuerto se debe a diversas fuentes como lo son las operaciones de las propias aeronaves, los GAVs (vehículos de acceso al aeropuerto), fuentes estacionarias y los vehículos de asistencia a la aeronave (Ground Support Equipment- GSE). Las emisiones de estos últimos se caracterizan según la *circulación* en la plataforma y el *servicio* propio que brindan a las aeronaves.

Tal como afirma la Airport Cooperative Research Program [2], la mayoría de los GSE suelen estar asociados con el servicio de la aeronave durante el proceso de cambio del aeropuerto que consiste en las operaciones en tierra que se realizan desde el momento en que los bloques de goma (calzos) se colocan delante de las ruedas de la aeronave hasta el momento en que se retiran los bloques. Durante este período, hay una serie de tareas que se realizan, incluyendo la carga y descarga de pasajeros y equipaje, limpieza y mantenimiento de aeronaves, reabastecimiento y reposición de provisiones, y otros servicios similares. Otras funciones de los GSE refieren al servicio y mantenimiento de la infraestructura del lado aéreo y del aeródromo.

Por su parte, en el reporte de la ACRP [2], se menciona que el deseo de ser ambientalmente responsables ha resultado en un número creciente de programas aeroportuarios en todo Estados Unidos que buscan

evaluar y reducir las emisiones aeroportuarias. Aunque a nivel bibliográfico el aporte gaseoso de las aeronaves se encuentra ampliamente investigado, los desarrollos para el caso de los vehículos de asistencia a la aeronave no lo son. Los datos disponibles son obsoletos, poco confiables y limitados. Tanto la Federal Aviation Administration como las concesiones de los aeropuertos necesitan datos precisos de los GSE (ídem al anterior) para planificar adecuadamente y equilibrar las crecientes demandas de los viajes aéreos con las preocupaciones sobre la calidad del aire.

El objetivo del presente estudio es identificar y validar aquellos modelos que se asemejan a las mediciones tomadas en el Aeropuerto Jorge Newberry.

MÉTODOS Y METODOLOGÍA ABORDADA

Las emisiones de los GSE durante el servicio dependen de distintas etapas tanto para el proceso de descarga como para el de carga y están caracterizados de la siguiente manera: espera, conexión, servicio y desconexión. Esta discretización se debe a la propuesta de ajustar los valores de las emisiones en el modelo, profundizando aún los estudios y modelos que se utilizan y son de referencia en la actualidad.

Cada etapa propuesta, tanto para la descarga como para la carga, está asociada a un Factor de Carga (FC) definido por [3] como la porción de la potencia del motor utilizada respecto a la máxima. La cuantificación de las emisiones por vehículo depende de una serie de factores tal como se describe en la siguiente ecuación. De allí puede notarse la influencia en la sumatoria de cada tiempo con su factor de carga correspondiente.

$$E_{k,i} = P \cdot f_{e_i}(s) \cdot f_d \cdot \sum_{k=1}^n (A_k) \sum_{j=1}^B (f_{c_j} \cdot t_j) \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde,

$E_{k,i}$: Emisión gaseosa total según gas “i” producto de cada GSE, [gr]

P: Potencia al freno del equipo GSE, [HP]

$f_{e_i}(s)$: Factor de emisión en servicio del contaminante, respecto del equipo GSE, $\left[\frac{gr}{HP \cdot h} \right]$

f_d : Factor de deterioro del equipo GSE

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

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

Ak: Cantidad de GSE requeridos según aeronave para cada operación

A diferencia de la bibliografía de referencia donde se proponen los tiempos y sus factores promedio (utilizándose en mayor de sus casos los tiempos propuestos por los Airport planning), se puede observar que al identificar las etapas con sus tiempos y factores respectivos, los resultados obtenidos reflejan una más precisión, obteniendo así valores más reales.

Es por ello que se ha decidido analizar los comportamientos de los tiempos durante el servicio a través de distintos modelos estadísticos que reflejen más adecuadamente lo medido en campo.

Previo a analizar los modelos estadísticos que reflejen los valores de los tiempos, es necesario recopilar los datos de las mediciones según las etapas identificadas. Estas mediciones se han realizado en diferentes días, y los tiempos han sido tomado por múltiples colaboradores, siendo estos posibles factores de errores. Caracterizados los tiempos según vehículo y etapas, se procede a analizar diferentes modelos de regresión multivariada, que se ajusten a las mediciones tomadas con el menor error posible. Para ello será considerado el valor que toma R^2 , siendo este el porcentaje de variación explicada de la variable de respuesta que explica su relación con una o más variables predictoras.

A continuación, se muestra de manera esquemática los pasos para el análisis de los tiempos:

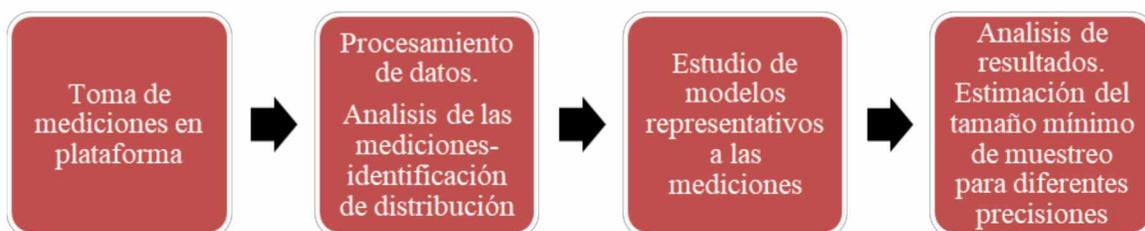


Figura 1 Metodología abordada

Por fines prácticos para trabajar en el software estadístico, se ha asociado cada GSE con un número, tal como se muestra en la tabla a continuación

Tabla 1 Identificación de los GSE analizados

N° de GSE	GSE
1	Unidad de Potencia en Tierra - GPU
2	Catering
3	Pushback
4	Remolque de equipaje
5	Cinta de equipaje
6	Camión cisterna
7	Bus para movilidad reducida
8	Combustible
9	Remolque de escalera
10	Bus

A partir de los registros se identifican para cada vehículo la media, mediana, desvío estándar, percentiles (5, 25, 75, 95), y mínimos y máximos de los tiempos de demora. De allí, junto a los gráficos de los histogramas, se analizó la distribución de las mediciones y se observó que la media presentaba mucha variabilidad. Por lo tanto, se desestimó una distribución Gaussiana y se aplicaron métodos de regresión no lineales.

En la siguiente tabla se resume distribución de las casi 300 mediciones (n) realizadas por estado y por GSE.

Tabla 2 Cantidad de mediciones según GSE y por estado

GSE	Cantidad de mediciones (n) según estado			
	Espera	Conexión	Servicio	desconexión
Unidad de Potencia en Tierra	-	5	11	3
Catering	7	9	23	10
Pushback	5	5	16	4
Remolque de equipaje	10	8	23	10
Cinta de equipaje	3	9	36	6
Camión cisterna	3	3	5	2
Bus para movilidad reducida	2	1	5	2
Combustible	5	5	11	5
Remolque de escalera	2	2	2	1
Bus	5	1	22	1

Luego de analizar distintos modelos no lineales y verificar la distribución de los tiempos por medio de histogramas, se decidió ajustar los datos con Regresión de Poisson y Regresión de Medianas. El procesamiento de los datos fue realizado con el Software Stata 15.

RESULTADOS

Los siguientes histogramas muestran la distribución de los tiempos, de demora en cada etapa y en cada vehículo:

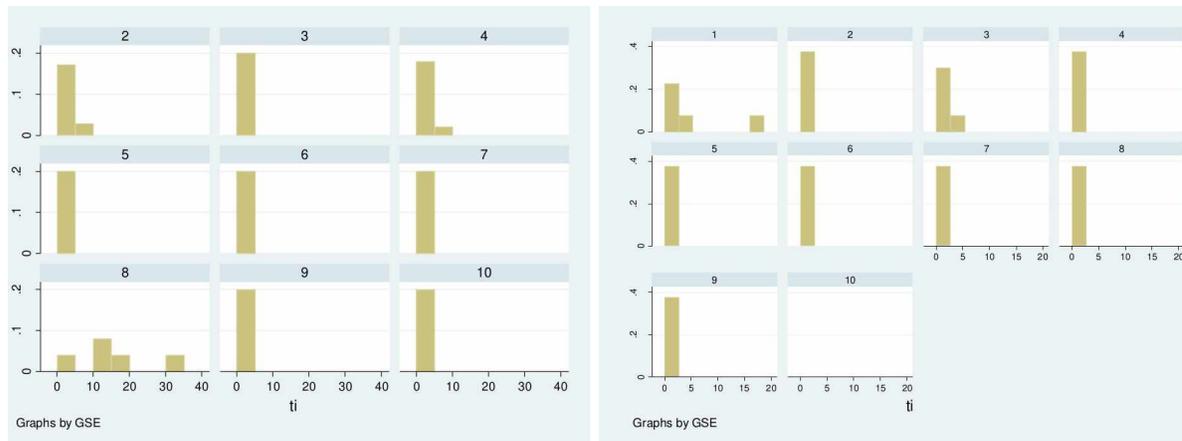


Figura 2 Izq. Histograma de los tiempos en la etapa espera para todos los GSE a excepción del 1 (GPU) dado que en ese estado no emite emisiones. Der. Histograma de los tiempos en la etapa conexión para todos los GSE

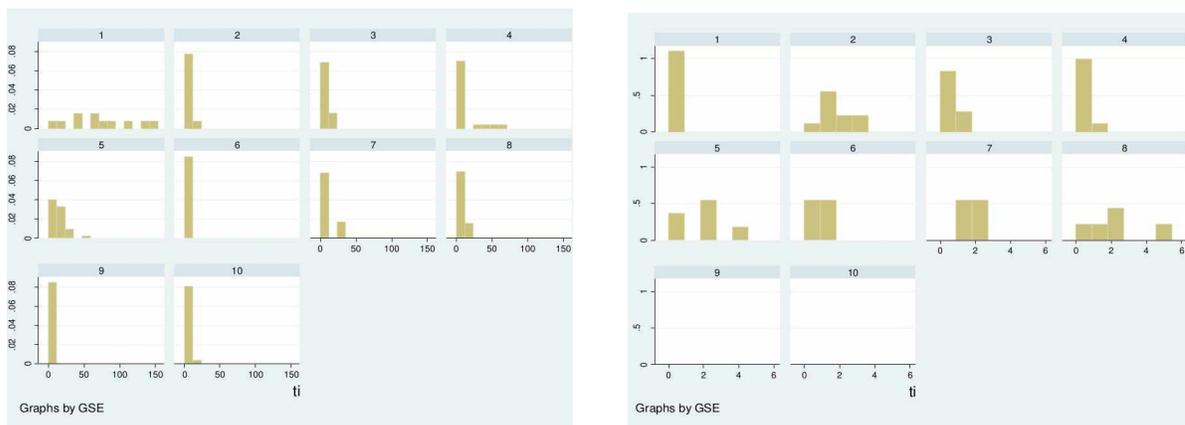


Figura 3 Izq. Histograma de los tiempos, en la etapa servicio para todos los GSE. Der. Histograma de los tiempos en la etapa conexión para todos los GSE

La mediana de las mediciones para todos los vehículos por estado, en minutos, fue: en espera 0,71; conexión 0,67; servicio 3,83 y desconexión 0,45. Esto permite facilitar la identificación de aquellos vehículos que presentar valores muy superiores, siendo estos los que más emisiones generan.

Se puede visualizar entonces, para el estado de espera valores significativos (mediana de 14,17 minutos; $p < 0,001$) para la carga de combustible. En la conexión no se observaron diferencias significativas en la mediana de los tiempos según actividad. En el servicio, dos actividades mostraron mayores valores de medianas con relación a las otras actividades: el GPU (70,25 minutos, $p < 0,001$) y la cinta de equipaje (12 minutos, $p < 0,001$). A su vez, la desconexión mostró una mayor variabilidad entre actividades, observándose medianas de tiempos menores en GPU (mediana 0,33, $p = 0,044$), pushback (mediana 0,30,

p=0.026), remolque de equipaje (mediana 0,17, p=0.004) y camión cisterna (mediana 0,22, p=0.057) con relación a los tiempos de demoras de catering, cinta y bus con movilidad reducida. Los tiempos de combustible, remolque y bus no pudieron ser incorporados en el modelo porque no convergía. La tabla 3 muestra los valores observados y esperados según el modelo de Poisson y Medianas y el R² que muestra la variabilidad explicada. Los parámetros de cada modelo se muestran en el *apéndice*.

Tabla 3: Valores de los tiempos en segundos observados (obs) y esperados para los estados analizados, por GSE

GSE	Espera			Conexión			Servicio			Desconexión		
	Esperados			Esperados			Esperados			Esperados		
	Obs	Poisson	Mediana	Obs	Poisson	Mediana	Obs	Poisson	Mediana	Obs	Poisson	Mediana
GPU	0	0	0	20	259	20	4.215	4.386	4.215	20	21	20
Catering	34	118	34	102	100	102	270	378	270	98	109	99
Pushback	21	30	21	92	131	92	111	315	115	15	24	18
Remolque equipaje	75	103	77	19	30	20	189	522	190	8	16	10
Cinta de equipaje	98	105	98	27	45	27	720	874	720	117	112	113
Camión cisterna	16	24	16	17	18	17	49	48	49	34	34	13
Bus mov red	51	51	72	110	110	110	120	476	120	98	98	85
Combustible	850	930	850	77	63	77	465	531	465	112	143	112
Remolque escalera	68	68	16	54	54	66	297	297	30	0	0	0
Bus	10	62	10	0	54	66	100	191	110	0	0	0
R2		0,52	0,39		0,20	0,24		0,55	0,35		0,21	0,38

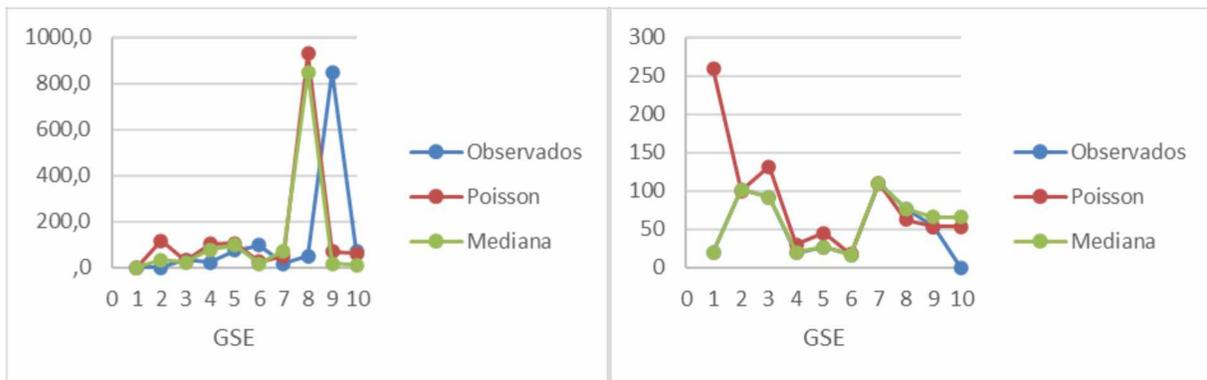


Figura 4 Curvas comparativas de los valores observados y esperados (Poisson y Mediana). Izq. Para estado espera y der. Para estado conexión

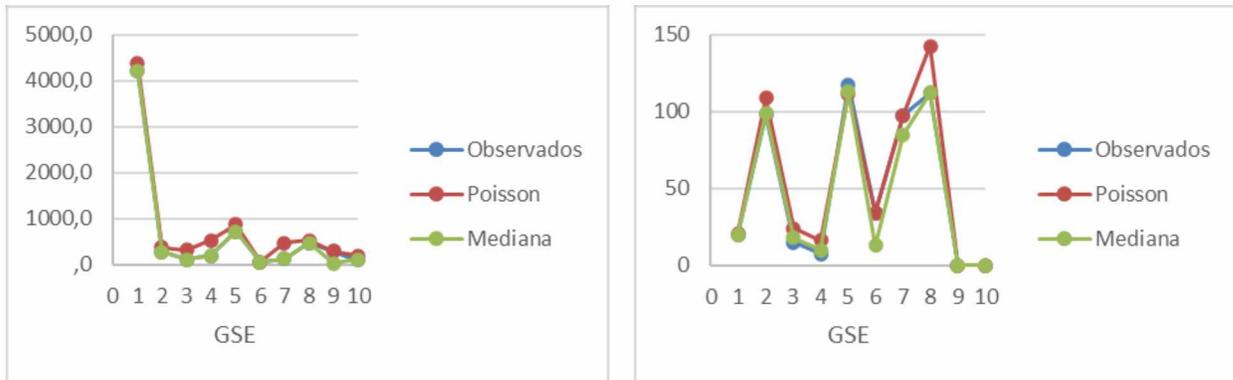


Figura 5 Curvas comparativas de los valores observados y esperados (Poisson y Mediana). Izq. Para estado servicio y der. Para estado desconexión

CONCLUSIONES

A juzgar por las diferencias observadas según la actividad en cada uno de los estados (espera, conexión, desconexión y servicios), la aplicación de modelos de regresión para estudiar las mediciones realizadas es fundamental a la hora de respaldar la toma de decisiones. Los modelos desarrollados nos permitirían tomar decisiones para minimizar algunos tiempos de demora para reducir la contaminación asociada a la operación. Los modelos propuestos ajustan a los valores observados, sin embargo, se puede notar algunos puntos a tener en cuenta como el valor en la etapa de conexión para Poisson en el vehículo GPU. En el resto de las curvas puede observarse que los comportamientos son los similares, dando validez a la aplicación de ambas regresiones para este estudio.

Los modelos explicaron entre el 20% y 50 % de la variabilidad total, siendo las etapas de espera y servicio los que mostraron el mejor ajuste (aproximadamente 50%) y las etapas de conexión y desconexión los peores ajustes (aproximadamente 20%).

Si comparamos ambos modelos, los valores son mayores para *Poisson* en la etapa de espera y servicio, mientras que mediana para las etapas de conexión y desconexión la *regresión de Mediana* predomina ante Poisson.

Tal como se menciona en el objetivo, las mediciones han sido realizada en el aeropuerto Jorge Newberry, por lo cual se podrían extrapolar los valores para aeropuertos de similares características y movimientos diarios. Sin embargo, los valores podrían verse afectados si las condiciones operativas y geométricas no son similares, generando así nuevas líneas de investigación y trabajos a futuro.

APÉNDICE

A continuación, se presenta la tabla que representa los valores característicos de las regresiones. Donde: C: coeficiente de ajuste a la curva, es: error estándar, p: nivel de significancia al 95%, z: test

Poisson								Mediana								
GSE	C	Espera						GSE	C	Espera						
		es	z	p	[95% Conf.	Interval]	es			z	p	[95% Conf.	Interval]			
GPU	0,000						GPU									
Catering	0,644	0,517	1,250	0,212	-0,368	1,657	Catering	0,400	1,033	0,390	0,701	-1,702	2,502			
Pushback	-0,723	0,771	-0,940	0,348	-2,234	0,788	Pushback	0,183	1,116	0,160	0,871	-2,087	2,454			
Remolque equipaje	0,510	0,502	1,010	0,310	-0,475	1,495	Remolque equipaje	1,117	0,967	1,160	0,256	-0,850	3,083			
Cinta de equipaje	0,530	0,620	0,850	0,393	-0,686	1,746	Cinta de equipaje	1,467	1,289	1,140	0,263	-1,155	4,089			
Camión cisterna	-0,932	1,008	-0,920	0,355	-2,908	1,044	Camión cisterna	0,100	1,289	0,080	0,939	-2,522	2,722			
Bus mov red	-0,192	0,885	-0,220	0,828	-1,926	1,542	Bus mov red	1,033	1,477	0,700	0,489	-1,971	4,037			
Combustible	2,712	0,455	5,960	0,000	1,820	3,604	Combustible	14,000	1,116	12,540	0,000	11,729	16,271			
Remolque escalera	0,096	0,797	0,120	0,905	-1,467	1,658	Remolque escalera	0,100	1,477	0,070	0,946	-2,904	3,104			
Bus	0,000						Bus	0,000								

Conexión								Conexión							
GSE	C	Conexión						GSE	C	Conexión					
		es	z	p	[95% Conf.	Interval]	es			z	p	[95% Conf.	Interval]		
GPU	1,579	0,779	2,030	0,043	0,052	3,106	GPU	-0,767	0,834	-0,920	0,364	-2,456	0,922		
Catering	0,630	0,792	0,800	0,426	-0,922	2,182	Catering	0,600	0,779	0,770	0,446	-0,978	2,178		
Pushback	0,899	0,808	1,110	0,266	-0,684	2,481	Pushback	0,433	0,834	0,520	0,606	-1,256	2,122		
Remolque equipaje	-0,583	0,901	-0,650	0,518	-2,349	1,183	Remolque equipaje	-0,767	0,788	-0,970	0,337	-2,362	0,829		
Cinta de equipaje	-0,173	0,842	-0,210	0,837	-1,823	1,477	Cinta de equipaje	-0,650	0,779	-0,830	0,410	-2,228	0,928		
Camión cisterna	-1,108	1,301	-0,850	0,394	-3,658	1,442	Camión cisterna	-0,817	0,910	-0,900	0,375	-2,659	1,026		
Bus mov red	0,721	1,052	0,690	0,493	-1,341	2,782	Bus mov red	0,733	1,221	0,600	0,552	-1,739	3,206		
Combustible	0,160	0,867	0,180	0,853	-1,539	1,860	Combustible	0,183	0,834	0,220	0,827	-1,506	1,872		
Remolque escalera							Remolque escalera								
Bus							Bus								

Servicio								Servicio							
GSE	C	Servicio						GSE	C	Servicio					
		es	z	p	[95% Conf.	Interval]	es			z	p	[95% Conf.	Interval]		
GPU	3,136	0,125	25,140	0,000	2,892	3,381	GPU	68,417	3,435	19,920	0,000	61,626	75,207		
Catering	0,685	0,146	4,710	0,000	0,400	0,971	Catering	2,667	2,774	0,960	0,338	-2,817	8,151		
Pushback	0,504	0,162	3,120	0,002	0,187	0,822	Pushback	0,083	3,057	0,030	0,978	-5,959	6,125		
Remolque equipaje	1,007	0,140	7,210	0,000	0,733	1,281	Remolque equipaje	1,333	2,805	0,480	0,635	-4,211	6,878		
Cinta de equipaje	1,523	0,127	11,960	0,000	1,274	1,773	Cinta de equipaje	10,167	2,517	4,040	0,000	5,190	15,143		
Camión cisterna	-1,370	0,512	-2,680	0,007	-2,374	-0,366	Camión cisterna	-1,017	4,609	-0,220	0,826	-10,127	8,094		
Bus mov red	0,916	0,199	4,610	0,000	0,526	1,305	Bus mov red	0,167	4,609	0,040	0,971	-8,944	9,277		
Combustible	1,025	0,157	6,540	0,000	0,718	1,332	Combustible	5,917	3,435	1,720	0,087	-0,874	12,707		
Remolque escalera	0,446	0,339	1,310	0,189	-0,219	1,111	Remolque escalera	-1,333	6,871	-0,190	0,846	-14,914	12,248		
Bus	0,000						Bus	0,000							

Desconexión								Desconexión							
GSE	C	Desconexión						GSE	C	Desconexión					
		es	z	P>z	0,060	[95% Conf.	Interval]			es	z	P>z	0,044	[95% Conf.	Interval]
GPU	-1,932	1,026	-1,880	0,060	-3,942	0,079	GPU	-1,533	0,732	-2,090	0,044	-3,021	-0,045		
Catering	-0,271	0,373	-0,730	0,467	-1,003	0,460	Catering	-0,217	0,549	-0,390	0,696	-1,333	0,899		
Pushback	-1,772	0,838	-2,110	0,035	-3,415	-0,129	Pushback	-1,567	0,673	-2,330	0,026	-2,934	-0,200		
Remolque equipaje	-2,181	0,676	-3,230	0,001	-3,506	-0,857	Remolque equipaje	-1,700	0,549	-3,100	0,004	-2,816	-0,584		
Cinta de equipaje	-0,243	0,417	-0,580	0,560	-1,060	0,574	Cinta de equipaje	0,017	0,607	0,030	0,978	-1,217	1,251		
Camión cisterna	-1,434	0,983	-1,460	0,145	-3,361	0,493	Camión cisterna	-1,650	0,839	-1,970	0,057	-3,355	0,055		
Bus mov red	-0,380	0,626	-0,610	0,544	-1,607	0,847	Bus mov red	-0,450	0,839	-0,540	0,595	-2,155	1,255		
Combustible							Combustible								
Remolque escalera							Remolque escalera								
Bus							Bus								

Figura 6 Valores característicos de los modelos de regresión propuestos.

Referencias:

- [1] G. R. Alonso, “El Impacto Ambiental Del Transporte Aéreo Y Las Medidas Para Mitigarlo,” p. 15, 2012.
- [2] Airport Cooperative Research Program, “Report 78 Airport Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial,” 2012.
- [3] M. Klanfar, T. Korman, and T. Kujundžić, “Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed stone,” *Teh. Vjesn.*, vol. 23, no. 1, pp. 163–169, 2016.