

Medición de eficiencia aeroportuaria. Caso de aeropuertos privatizados colombianos

Luis Pulido Moreno¹, Oscar Díaz Olariaga^{2*}

¹Facultad de Ingeniería Industrial; ²Facultad de Ingeniería Civil; Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia.

*OscarDiazOlariaga@usantotomas.edu.co

Presentación: Oral

Area temática (seleccione una opción):

- | | |
|---|---|
| ☐ Economía del transporte | ☐ Transporte multimodal y logística de mercancías |
| ☐ Infraestructura del transporte | ☐ Transporte, ambiente y ciudad |
| ☐ Modelación y sistemas inteligentes de transporte | ☐ Tránsito y accesibilidad del transporte |
| ☐ Planificación y políticas de transporte | ☒ Modos generales y temas transversales al transporte |
| ☐ Seguridad Vial | |

RESUMEN

La evaluación de la eficiencia aeroportuaria ha sido un área de investigación en auge en los últimos años. Estas evaluaciones son importantes para todos los actores de la industria, operadores de aeropuertos (públicos y privados), organismos reguladores, gobiernos (locales, regionales y nacionales), y aerolíneas. Por ello, en los últimos 15-20 años se han publicado una gran cantidad de artículos sobre eficiencia aeroportuaria. En lo que refiere a las técnicas específicas adoptadas en las investigaciones el Análisis Envolvente de Datos, más conocido como DEA (Data Envelopment Analysis), es uno de los más utilizados. Entonces, la presente investigación, uno de cuyos objetivos fue cubrir el vacío en la literatura científica en el tema a nivel geográfico (principalmente a nivel Colombia), tomó como caso de estudio o de aplicación para la medición de la eficiencia aeroportuaria un conjunto de aeropuertos de Colombia, los más importantes del país, y en el presente con gobernanza privada. Y todo ello en un contexto de mercado liberalizado del transporte aéreo (en donde se privatizaron los aeropuertos más importantes del país), incluida la total desregularización de las tarifas aéreas, de considerable nivel de inversión global en infraestructura aeroportuaria, pública y privada, y de alto crecimiento (del tráfico aéreo) mantenido en las dos última décadas. En definitiva, resulta de gran interés conocer y medir la eficiencia de los aeropuertos privatizados en Colombia. Y la metodología utilizada para realizar el estudio es el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Las variables utilizadas fueron del tipo técnico (relacionadas a la infraestructura existente), de transporte aéreo (pasajeros, carga, movimientos), de oferta y cobertura (aerolíneas y destinos), de operación/explotación (número de empleados), y sobre el comportamiento de la demanda de pasajeros (factor de carga). Como aporte original, este estudio utilizó un gran número de variables, muchas más de las que habitualmente se utilizan en este tipo de estudio (según una pormenorizada revisión de la literatura internacional existente), lo que ayudó a precisar los resultados obtenidos, y de entre éstos destacar altos niveles de eficiencia, en especial en los años recientes y en casi todos los aeropuertos analizados. Los datos se obtuvieron de AEROCIVIL y de la ANI (Gerencia de Aeropuertos).

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la eficiencia aeroportuaria ha sido un área de investigación en auge en los últimos años. Estas evaluaciones son importantes para todos los actores de la industria, operadores de aeropuertos (públicos y privados), organismos reguladores, gobiernos (locales, regionales y nacionales), y aerolíneas. Por ello, en los últimos 15-20 años se han publicado una gran cantidad de artículos sobre eficiencia aeroportuaria (lo Storto, 2018; Gutierrez and Lozano, 2016; Wanke et al., 2016; Ahn and Min, 2014). En lo que refiere a las técnicas específicas adoptadas en las investigaciones el Data Envelopment Analysis (DEA) (Charnes et al., 1978) es uno de los más utilizados, empezando por el trabajo de Gillen y Lall (1997) que fue uno de los primeros en la materia.

Entonces, la presente investigación, uno de cuyos objetivos es cubrir el vacío en la literatura científica en el tema a nivel geográfico (tanto regional como local), tomará como caso de estudio para la medición de la eficiencia aeroportuaria un conjunto de aeropuertos de Colombia, los más importantes del país, y en el presente con gobernanza privada. Y todo ello en un contexto de mercado liberalizado del transporte aéreo (en donde se privatizaron los aeropuertos más importantes del país), incluida la total desregularización de las tarifas aéreas, de considerable nivel de inversión global en infraestructura aeroportuaria, pública y privada, y de alto crecimiento mantenido en las dos última décadas (Díaz Olariaga and Zea, 2018).

En definitiva, resulta de gran interés conocer y medir la eficiencia de los aeropuertos privatizados en Colombia. Y la metodología utilizada para realizar el estudio es el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Las variables utilizadas serán del tipo técnico (relacionadas a la infraestructura existente), de transporte aéreo (pasajeros, carga, movimientos), de oferta y cobertura (aerolíneas y destinos), de operación/explotación (número de empleados), y sobre el comportamiento de la demanda de pasajeros (factor de carga).

REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA

En las últimas dos décadas, y a nivel mundial, la academia ha investigado el impacto de diferentes formas de propiedad sobre la eficiencia de los aeropuertos (lo Storto, 2018; Chen et al., 2017; Gutierrez and Lozano, 2016; Wanke et al., 2016; Ahn and Min, 2014; Lai et al., 2012). Y desde un punto de vista metodológico el Data Envelopment Analysis (DEA) se ha convertido en la herramienta más popular para los análisis y medición de la eficiencia.

Algunos estudios encuentran evidencia clara de la influencia de la gobernanza en la eficiencia del aeropuerto, otros no pueden descubrir ningún efecto relevante, y otros muestran que el efecto de la gobernanza en la eficiencia del aeropuerto depende de muchos otros factores, por ejemplo relacionados con el mercado y el entorno competitivo, la estructura de gobierno (del operador del aeropuerto), el tipo de concesión, y hasta la capacidad del aeropuerto en generar economías de escala. Los investigadores han usado diferentes muestras, variables, períodos de tiempo y métodos de investigación (lo Storto, 2018). Ciertas discrepancias entre los resultados obtenidos en las investigaciones se deben a las diferencias en el enfoque de la investigación. Se pueden encontrar resultados contradictorios para muestras de aeropuerto iguales o similares en diferentes marcos de tiempo (Gitto and Mancuso, 2012; Oum et al., 2003, 2006, 2008). Las heterogeneidades en las muestras y los conjuntos de datos hacen problemáticos los estudios comparativos y pueden sesgar fuertemente el análisis de eficiencia porque los entornos operativos de los aeropuertos son muy diferentes (Adler et al., 2013; Marques et al., 2015).

La mayoría de las investigaciones que miden y analizan la eficiencia de los aeropuertos cubren sus análisis a nivel país (o a veces abarcan regiones continentales), por lo que se encuentran estudios de varios países/regiones del mundo. Sin embargo, mencionar que para la región de Latinoamérica se encuentra muy poca literatura, solo se destacan: un estudio de Perelman and Serebrisky (2012) donde se analizó la eficiencia aeroportuaria de varios aeropuertos de la región; Barros (2008) examinó la eficiencia técnica de los aeropuertos en Argentina, y analizó los resultados en el contexto de la crisis económica durante el período 2003-2007; y finalmente, Wanke (2013) y Pacheco and Fernandes (2003) midieron la eficiencia de aeropuertos en Brasil. No se encuentran investigaciones (al menos publicadas) sobre la medición de la eficiencia en aeropuertos de Colombia.

CASO DE ESTUDIO

Sobre la gestión de la infraestructura aeroportuaria Colombia ha seguido la tendencia regional de concesionar la administración de dichas infraestructuras al sector privado (Díaz Olariaga and Ávila, 2015; Serebrisky, 2012; Bosch and García Montalvo, 2003), como son los casos de Brasil (Espírito Santo, 2013), Perú (Mendiola et al., 2011), Chile (Carvalho, 2008), Argentina (Lipovich, 2008), México (Rico Galeana, 2008), entre otros. Entonces, desde mediados de la década de 1990, y en varias fases temporales, denominadas generaciones, el gobierno colombiano entregó en concesión varios aeropuertos del país, un total de 19 a la fecha, incluidos los más grandes e importantes (y que gestionan el grueso del tráfico aéreo de toda la red) (Díaz Olariaga, 2017, 2016a, 2016b). Como resultado de las políticas públicas, tanto de privatización como de inversión pública y privada en infraestructura aeroportuaria, y acompañadas con políticas de desregulación del sector aerocomercial, donde las tarifas aéreas están totalmente liberalizadas desde el año 2012 (Díaz Olariaga and Zea, 2018), en las últimas dos décadas y media el transporte de pasajeros (totales) creció un 863% (Díaz Olariaga, 2018).

En otro orden, se puede afirmar que el transporte aéreo en Colombia prácticamente no tiene competencia (a nivel doméstico) con otros medios de transporte, sobre todo para distancias medias y largas, debido a dos situaciones determinantes: primero, la compleja geografía del país (atravesado de suroeste a noreste por tres cadenas montañosas de la Cordillera de Los Andes), y segundo, a la deficiencia (en cobertura, capacidad y tecnología) de los sistemas de comunicación terrestre (no existencia de autopistas de media o alta capacidad) y ferroviario existentes (no existencia de sistema / red de trenes de pasajeros) (Díaz Olariaga and Carvajal, 2016). Y finalmente, y por la distribución geográfica de los aeropuertos en el país, y por la estructura (o sistema) de las concesiones aeroportuarias (Díaz Olariaga, 2017),

prácticamente no existe competencia intra-aeroportuaria. Entonces, en la Tabla 1 se presenta la información de los aeropuertos privatizados, y que forman parte de la presente investigación.

Tabla 1. Datos de aeropuertos con gobernanza 100% privada. Fuente: Aerocivil, 2018.

Airport city	IATA Code	Year of privatization	PAX (2017)
Carepa	APO	2008	205362
Medellín	EOH	2008	1070158
Rionegro	MDE	2008	7325740
Barranquilla*	BAQ	2015	2576253
Cartagena	CTG	2010	4590151
Valledupar	VUP	2010	387634
Quibdó	UIB	2008	372618
Montería	MTR	2008	938460
Bogotá	BOG	2007	24694288
Riohacha	RCH	2010	149980
Santa Marta	SMR	2010	1686025
Cúcuta	CUC	2010	875519
Providencia	PVA	2007	71091
San Andrés	ADZ	2007	2328104
Barrancabermeja	EJA	2010	128895
Bucaramanga	BGA	2010	1565482
Corozal	CZU	2008	82675
Cali	CLO	2000	4858057

* El aeropuerto de la ciudad de Barranquilla (BAQ) no participa del estudio ya que fue privatizado recientemente (y no se cuenta con datos históricos suficientes para el análisis).

METODOLOGÍA

Fundamentos

La metodología de Análisis Envolvente de Datos (que surge a raíz de la tesis doctoral de Rhodes (1978) y puede considerarse como una extensión del trabajo de Farrell (1957)), que se utiliza en la presente investigación, es considerada como una solución no paramétrica para estimar la productividad de los factores de entrada en un sistema y los resultados de su transformación dentro del proceso con el uso de la programación lineal (Charnes et al., 1978, 1994). El primer modelo DEA, propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), denominado DEA-CCR, tuvo una orientación de entrada y suponía la existencia de rendimientos constantes de escala. El segundo modelo DEA propuesto, conocido como DEA-BCC (Banker et al., 1984), presenta la hipótesis de rendimientos variables de escala. Entonces, en su trabajo Charnes et al. (1978) afirman que frente a un conjunto de unidades consideradas como productivas, y que se pueden comparar entre sí dado que su proceso de transformación de recursos es similar (y para definir un marco de comparación), nombran estas unidades productivas como DMU (Decision Making Unit) y definen tres tipos de eficiencia para lograr esta comparación:

- Eficiencia técnica: se elige como unidad de referencia la de mayor productividad entre unidades del mismo tamaño.
- Eficiencia de escala: refleja la habilidad de la DMU de usar los recursos o factores en proporciones óptimas.
- Eficiencia global: se escoge como unidad de referencia la de mayor productividad de las que estén en el estudio.

Las relaciones de eficiencia se miden con el coeficiente obtenido entre los resultados de salida del sistema (outputs) y los recursos que lo abastecieron en el inicio (inputs), con el siguiente criterio (Charnes et al., 1981):

- Inputs orientados: buscan, dado el nivel de outputs, la máxima reducción proporcional en el vector de inputs mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. Una unidad no es eficiente si es posible disminuir cualquier input sin alterar sus outputs.
- Outputs orientados: buscan, dado el nivel de inputs, el máximo incremento proporcional de los outputs, permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción. Una unidad no es eficiente si es posible incrementar cualquier outputs sin incrementar ningún input y sin disminuir ningún otro output.

Conceptualización metodológica

En la presente investigación se entiende como "eficiencia global" la capacidad de cada aeropuerto analizado de aprovechar productivamente sus recursos de entrada, independiente de su tamaño en comparación con otras unidades dentro del estudio. Para iniciar el cálculo de la eficiencia global de los aeropuertos de estudio, y en concordancia con la literatura existente, se decidió que cada aeropuerto sería medido como una DMU (Unidad Productiva) y para cada uno de los mismos se definieron las variables que se tendrán en cuenta en el análisis como variables de entrada y salida. En la Tabla 2 se mencionan las variables utilizadas en la investigación. Y el escenario temporal o periodo de estudio se fija en seis años consecutivos, 2012-2017.

Tabla 2. Definición de variables de entrada y salida del análisis.

DMU	INPUTS	OUTPUTS
Aeropuertos (17): ADZ, SMR, CTG, PVA, MDE, CLO, APO, MTR, VUP, RCH, BOG, CZU, UIB, EJA, BGA, EOH, CUC.	1. Número de pistas. 2. Longitud de las pistas. 3. Número de posiciones de estacionamiento de aeronaves en plataforma. 4. Área edificada del edificio terminal de pasajeros. 5. Área de la plataforma. 6. Número de aerolíneas. 7. Destinos nacionales. 8. Destinos internacionales. 9. Número de empleados	1. Operaciones (despegues / aterrizajes) 2. Pasajeros transportados. 3. Carga aérea transportada. 4. Factor de carga (relación entre sillas ofrecidas y pasajeros a bordo). 5. Ingresos aeronáuticos.* 6. Ingresos no-aeronáuticos.*

* Esta variable será utilizada en solo cuatro aeropuertos (BGA, BOG, CLO y CTG), ya que no se dispone de la misma para el resto de aeropuertos.

Finalmente, y siguiendo la tendencia de la literatura científica existente, se decide utilizar el modelo DEA-CCR (Charnes et al., 1978), el más usado para este tipo de estudios, que ofrece la posibilidad de obtener rendimientos a escala comparativa. Entonces, el modelo se plantea de la siguiente manera (Tsui et al., 2014):

$$Max_{u,v} \quad h_o = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{ro}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{io}}$$

sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} \leq 1 \quad \forall j: 1..n$$

$$U_r, V_i \geq 0 \quad \forall r: 1..2 \quad \forall i: 1 \dots m$$

donde:

h_o : función objetivo, medida de la eficiencia.

Y_{ij} : output i-ésimo de la DMU j-ésima.

X_{ij} : input i-ésimo de la DMU j-ésima.

V_i : ponderaciones de inputs (soluciones del programa)

U_r : ponderaciones de outputs (soluciones del programa)

r: i-th output

j: i-th input

s: número total de *outputs*

m: número total de *inputs*

n: número total de DMU

RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos con la información de los inputs y outputs de 17 aeropuertos colombianos en estudio en el periodo 2012-2017



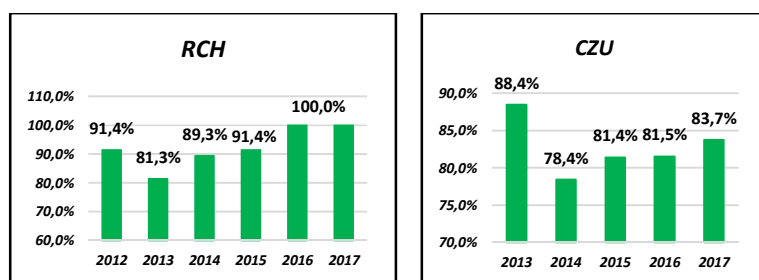


Figura 1. Valores de eficiencia de aeropuertos privatizados, periodo 2012-2017. Comentario: en esta medición solo se contemplaron 4 outputs (no se incluyeron las variables "ingresos").

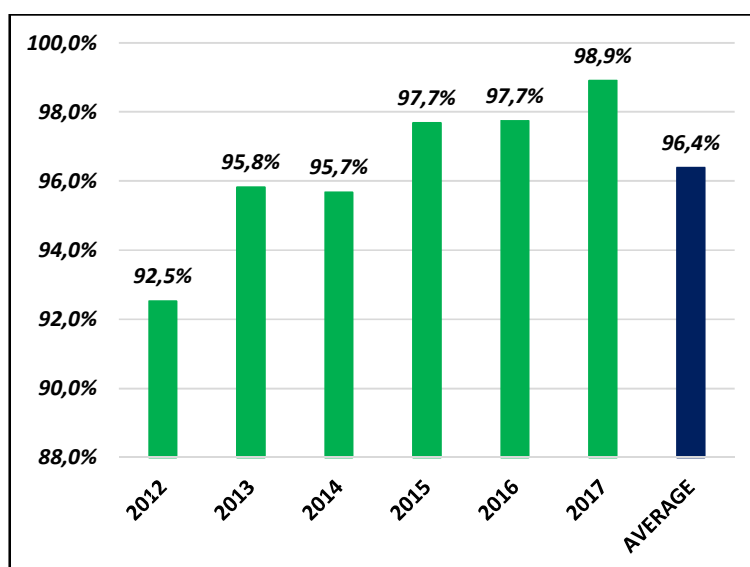


Figura 2. Evolución de la eficiencia del conjunto de aeropuertos privatizados en estudio (17), periodo 2012-2017. Comentario: en esta medición solo se contemplaron 4 outputs (no se incluyeron las variables 'ingresos').

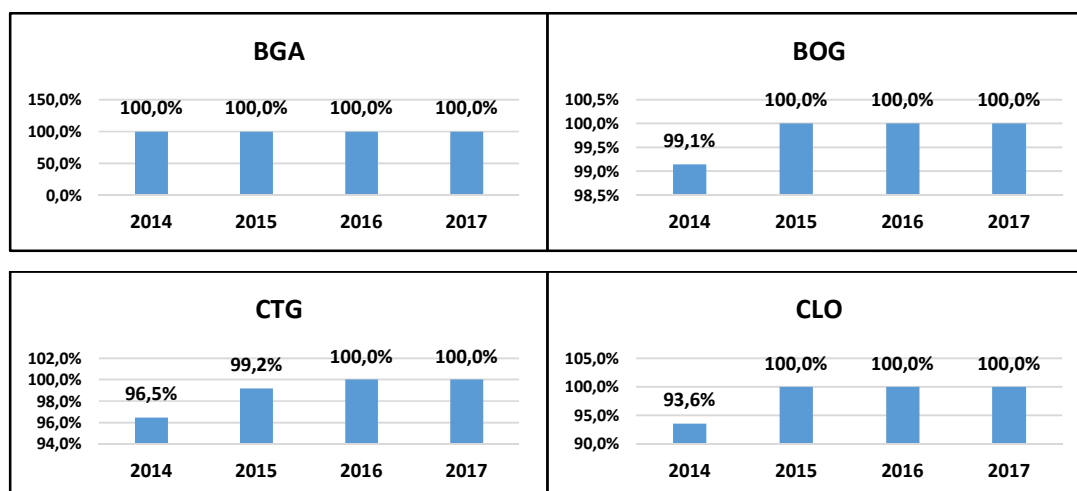


Figura 3. Medición de eficiencia de aeropuertos privatizados, periodo 2014-2017. *Comentario:* en esta medición se contemplaron todos los outputs (incluyendo las variables 'ingresos aeronáuticos' e 'ingresos no-aeronáuticos'), por ello la medición se restringe a solo 4 aeropuertos (de los cuales se dispone de los datos de ingresos).

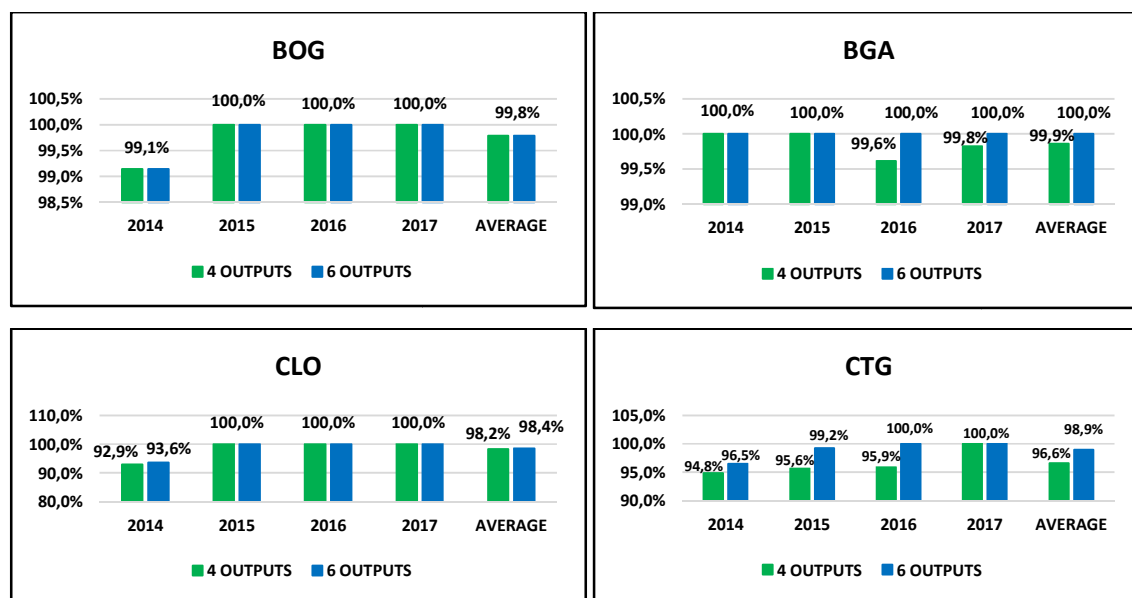


Figura 4. Comparación de eficiencia en la medición sin y con las variables 'ingresos', periodo 2014-2017, análisis válido solo para cuatro aeropuertos.

CONCLUSIONES

Los modelos de análisis presentados en este trabajo incluyen uno de 9 inputs y 4 outputs para 17 DMU (aeropuertos) en el periodo 2012-2017 y uno de 9 inputs y 6 outputs para 4 DMU en el periodo 2014-2017 y se comparan con el número de variables utilizados en los análisis de cálculo de la eficiencia en aeropuertos utilizando la metodología DEA. Comparando con otras investigaciones similares se puede afirmar que la presente investigación es, con diferencia, la que más variables (inputs + outputs) ha utilizado para la medición de la eficiencia (ver el extenso y detallado compendio de investigaciones similares en lo Storto, 2018 y Wanke et al., 2016).

Comparados los resultados obtenidos en la presente investigación con un estudio previo, donde se utilizaron los mismos aeropuertos e igual periodo de tiempo, pero con la mitad de variables (Díaz Olariaga and Pulido Moreno, 2019), el cálculo de eficiencia media (para el mismo conjunto de aeropuertos en estudio) obtenido en este trabajo muestra una importante diferencia (positiva), 96,4% con respecto a 71% de la investigación previa. Este resultado invita a concluir que el aumento en el número de variables de entrada y salida, incide, al menos en la muestra presentada, en un aumento considerable del valor de la eficiencia global promedio, pero no implicando necesariamente que la medición de la eficiencia sea más exacta.

En otro orden, comparando la eficiencia calculada considerando la variable "ingresos", con respecto a cuando el cálculo se realiza sin la misma (análisis restringido a solo cuatro aeropuertos), los resultados muestran una diferencia muy reducida, y cuando lo hacen siempre es mayor al utilizar esta variable.

Finalmente, destacar el crecimiento, en el periodo analizado, de los valores de eficiencia en los aeropuertos privatizados, en su evolución bajo gobernanza privada y en un entorno de mercado de la aviación totalmente liberalizado.

REFERENCIAS

- Ahn, Y-H.; Min, H. (2014). Evaluating the multi-period operating efficiency of international airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index. *Journal of Air Transport Management*, 39, 12-22.
- Adler, N.; Liebert, V.; Yazhemsky, E. (2013). Benchmarking airports from a managerial perspective. *Omega*, 41(2), 442–458.
- Barros, C.; Dieke, P. (2008). Measuring the economic efficiency of airports: a Simar-Wilson methodology analysis. *Transportation Research Part E*, 44, 1039-1051.
- Charnes, A.; Cooper, W.; Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Chen, Y.; Lai, P.; Piboonrungraj, P. (2017). The relationship between airport performance and privatisation policy: A nonparametric metafrontier approach. *Journal of Transport Geography*, 62, 229–235.
- Díaz Olariaga, O.; Pulido Moreno, L. (2019). Measurement of airport efficiency. The case of Colombia. *Transport and Telecommunication*, 20(1), 40-51.
- Díaz Olariaga, O. (2018). Prognosis de tráfico aéreo en contexto de post-liberalización del transporte aéreo. Caso de Colombia. *Working Paper*. DOI: 10.13140/RG.2.2.11443.73760
- Díaz Olariaga, O.; Zea, J.F. (2018). Influence of the liberalization of the air transport industry on configuration of the traffic in the airport network. *Transportation Research Procedia*, 33, 43-50.
- Díaz Olariaga, O. (2017). Políticas de privatización de aeropuertos. El caso de Colombia. *Documentos y Aportes en Administración Pública y Gestión Estatal*, 29, 7-35.
- Díaz Olariaga, O.; Ávila, J. (2015). Evolution of the airport and air transport industry in Colombia and its impact on the economy. *Journal of Airline and Airport Management*, 5(1), 39-66.
- Gitto, S.; Mancuso, P. (2012). Two faces of airport business: a non parametric analysis of the Italian airport industry. *Journal of Air Transport Management*, 20, 39–42.
- Gutierrez, E.; Lozano, S. (2016). Efficiency assessment and output maximization possibilities of European small and medium sized airports. *Research in Transportation Economics*, 56, 3–14.
- Lai, P.; Potter, A.; Beynon, M. (2012). The development of benchmarking techniques in airport performance evaluation research. *Transportation Journal*, 51(3), 305–337.
- lo Storto, C. (2018). Ownership structure and the technical, cost, and revenue efficiency of Italian airports. *Utilities Policy*, 50, 175–193.
- Marques, R.C.; Simoes, P.; Carvalho, P. (2015). The influence of the operational environment on efficiency of international airports. *Journal of Advanced Transportation*, 49(4), 511–522.
- Oum, T.H.; Yan, J.; Yu, C. (2008). Ownership forms matter for airport efficiency: a stochastic frontier investigation of worldwide airports. *Journal of Urban Economics*, 64(2), 422–435.
- Oum, T.H.; Adler, N.; Yu, C. (2006). Privatization, corporatization, ownership forms and their effects on the performance of the world's major airports. *Journal of Air Transport Management*, 12(3), 109–121.
- Oum, T.; Yu, C.; Fu, X. (2003). A comparative analysis of productivity performance of the world's major airports: summary report of the ATRS global airport benchmarking research report 2002. *Journal of Air Transport Management*, 9, 285-297.
- Pacheco, R.; Fernandes, E. (2003). Managerial efficiency of Brazilian airports. *Transportation Research Part A*, 37, 667-680.
- Perelman, S.; Serebrisky, T. (2012). Measuring the technical efficiency of airports in Latin America. *Utilities Policy*, 22, 1–7.
- Tsui, W.; Balli, H.; Gilbey, A.; Gow, H. (2014). Operational efficiency of Asia-Pacific airports. *Journal of Air Transport Management*, 40, 16-24.
- Wanke, P.; Barros, C.; Nwaogbe, O. (2016). Assessing productive efficiency in Nigerian airports using Fuzzy-DEA. *Transport Policy*, 49, 9–19.
- Wanke, P.F. (2013). Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: a two-stage network-DEA approach. *Journal of Air Transport Management*, 31, 1-5.