



Facultad
de Ciencias
Económicas y
Empresariales

Departamento
de Economía
Aplicada y
Estadística



**Revista de Evaluación de
Programas y Políticas Públicas**
JOURNAL OF PUBLIC PROGRAMS AND POLICY EVALUATION

Introducción al monográfico sobre estructura y políticas públicas en el mercado de transporte aéreo

Introduction to the special issue on structure and public policies in the air transport market

Núm. 9 (2017), pp. 1-4

Coto Millán, Pablo*
Sainz González, Rubén**

Recibido: **noviembre, 2017**

Aceptado: **diciembre, 2017**

DOI: [10.5944/reppp.9.2017.20583](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.20583)

* Pablo Coto Millán. Universidad de Cantabria, España. E-mail: cotop@unican.es

** Rubén Sainz González. Universidad de Cantabria, España. E-mail: sainzru@unican.es

Introducción

Desde finales del siglo pasado se han producido en el sector aeroportuario una serie de procesos que han implicado un cambio radical en la concepción que se tenía del mismo. La liberalización del transporte aéreo, comenzada en EEUU y seguida en Europa en la década de los 90, la globalización, el auge del sector turístico, el crecimiento exponencial de las compañías de bajo coste, los cambios legislativos, y en particular los que han afectado a España, nos muestran la importancia que tiene este sector y por ello a la necesidad de realizar un especial monográfico en el que se traten estos temas.

Algunos datos refrendan este hecho: la International Air Transport Association (IATA), en su informe de 2013 databa en 3 millones de personas las que empleaban el transporte aéreo por necesidades empresariales y turísticas, la Organización Mundial del Turismo (WTO, 2014) tasaba en un 51 % los turistas internacionales que empleaban este modo de transporte para sus viajes. Desde el punto de vista económico, según el informe sobre el sector aéreo publicado en 2014 por el Air Transport Action Group (ATAG), se estima que impacto económico total de la aviación a nivel mundial ronda el 3,5 % del PIB mundial y genera 62,7 millones de empleos en todo el mundo. En España, el impacto fue aún mayor, con un peso total sobre el PIB nacional cercano al 9 % y con 1,5 millones de personas empleadas. En lo que respecta al transporte de mercancías, el volumen total de carga aérea internacional representa todavía una proporción pequeña del total mundial en volumen (1 % en 2014), pero supone, en cambio, una parte importante en cuanto al valor de las mercancías transportadas (35 % del total) (IATA, 2016).

Los expuesto en los párrafos anteriores muestra la importancia del sector y en este monográfico se presentan una serie de artículos sobre la evaluación de las políticas públicas del transporte aéreo, aerolíneas y aeropuertos tanto desde el punto de vista de pasajeros como de carga.

En el primer artículo del monográfico, realizado por los investigadores Sofia Kalakou, Filipe Moura y Gustavo García Melero, se muestra un estudio que analiza el comportamiento de los pasajeros en los aeropuertos. Este tema ha sido poco explorado en la literatura hasta el momento. Se estudian los patrones de llegada de los pasajeros a las terminales y su relación con los gastos que hacen en las zonas comerciales de las mismas. La importancia de esta investigación versa en la evidencia de que el tiempo disponible en el aeropuerto afecta directamente a las actividades y los ingresos no aeronáuticos de estos. Los investigadores emplean modelos de elección discreta que permiten la modelización de las llegadas de los pasajeros a la terminal del aeropuerto de Lisboa y llegan a la conclusión de que la hora del vuelo, el lugar de residencia, el modo de acceso al terminal, el destino del vuelo y la frecuencia de viaje inciden sobre los patrones de llegada al terminal de los pasajeros. Estos resultados son relevantes para las configuraciones futuras de las terminales aeroportuarias, así como para predecir horarios punta de facturación y control de seguridad y planificar las acciones que correspondan para mejorar las operaciones en estos periodos.

En el segundo artículo del monográfico, realizado por los investigadores Javier Gundelfinger y Pablo Coto-Millán, se analiza la estructura de mercado de la industria de transporte aéreo en España, en particular para los viajes tipo “commuter” o pendulares y por motivo trabajo. Se trata de analizar el poder de mercado de las aerolíneas mediante el empleo de un modelo teórico de competencia oligopolística testado mediante el empleo de tres ecuaciones distintas: una de demanda, una relativa a la estructura de mercado y, por último, una ecuación de precios. El artículo muestra cómo los pasajeros de este tipo de viajes reaccionan ante variaciones en las frecuencias, capacidad y precios que llevan a cabo

las aerolíneas, así como ante variaciones en sus factores socioeconómicos. Los resultados obtenidos muestran que las aerolíneas compiten siguiendo estrategias tipo competencia a la Cournot.

Relacionado con el artículo anterior, los profesores Valeriano Martínez, Ingrid Mateo y Rubén Sainz, hacen un análisis de la estructura del sistema aeroportuario español, en particular se realiza un estudio de concentración, tanto desde el punto de vista de los aeropuertos existentes como de las compañías aéreas que los utilizan. Se muestra el nivel de concentración de los aeropuertos, destacando los aeropuertos más grandes, Madrid y Barcelona, así como los asociados a zonas más turísticas. También, en este artículo, se realiza un estudio de concentración dentro de los propios aeropuertos, lo que permita mostrar la existencia de poder de mercado dentro de cada aeropuerto. Este análisis permite mostrar el efecto que la inclusión de las compañías de bajo coste en el sistema aeroportuario español ha tenido y también permite determinar los efectos relativos a la crisis internacional, así como los cambios legislativos que han afectado a AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea). Los investigadores también realizan un análisis espacial, un análisis de concentración desde el punto de vista geográfico, determinando la autocorrelación espacial de los aeropuertos a lo largo del territorio nacional. Los resultados muestran que el sistema español de aeropuertos presenta un grado de concentración de pasajeros relativamente bajo, si bien es cierto que los cuatro aeropuertos más grandes acumulan en torno al 62 % del flujo total de pasajeros. Por aerolíneas, los resultados apuntan a una concentración aún menor, si bien los pasajeros transportados por las 4 aerolíneas de mayor tamaño suponen la mitad de los totales.

En el cuarto artículo del monográfico, se hace un análisis de la gestión económica del sector aeroportuario mediante el estudio de diferentes variables económicas como ingresos, costes, beneficios por pasajeros, precios y rentabilidad sobre la inversión. En la investigación de Francisco Salazar de la Cruz se trata de inferir el número de pasajeros que los aeropuertos necesitarían transportar para que resultaran rentables. Para dicho análisis el autor considera los datos de la década 1999-2009 de los aeropuertos británicos de acuerdo con los informes económicos por ejercicio publicados por “The UK airport statistics” del Centre for Research in Regulation de la Universidad de Bath. El artículo finaliza con algunas consideraciones sobre la conveniencia de animar la expansión aeroportuaria en el segmento de aeropuertos de bajo tráfico.

En los dos últimos artículos seleccionados para este monográfico se incluyen también las mercancías como unidad de estudio en el ámbito aéreo. Así, Vicente Inglada, Lucía Inglada y Pablo Coto analizan los cambios que se han producido en los aeropuertos españoles en el periodo 1992-2012, centrándose en el estudio del grado de eficiencia y productividad mostradas en su gestión. Se muestra el efecto que la liberalización del transporte aéreo, la globalización y la irrupción de las compañías de bajo coste han tenido sobre el sistema aeroportuario español, mostrando los cambios acaecidos en la productividad y en la eficiencia técnica. Los investigadores aplican la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) que permite la estimación de índices Malmquist de productividad y su posterior descomposición en indicadores de eficiencia técnica y cambio tecnológico. Los resultados obtenidos muestran que los aeropuertos españoles han experimentado durante el periodo analizado un moderado incremento de la productividad total de los factores que es imputable, prácticamente en exclusiva, al crecimiento de la eficiencia técnica.

Para concluir, el último de los artículos que forma este monográfico es el que presentan los profesores Carlos Pais-Montes, María Jesús Freire-Seoane y Fernando González Laxe. Su trabajo se centra en las aerolíneas de carga aérea como demandantes de servicios aeroportuarios. Este estudio muestra la conectividad de los principales nodos aeroportuarios

de carga. Para ello se han estudiado 3 redes de transporte aéreo de mercancías para 46 aeropuertos españoles y 9 nodos agregados (aeropuertos internacionales agregados). En esta investigación, los autores presentan por primera vez una metodología que permite mostrar la red de vínculos incidentes en los diferentes nodos de carga aérea españoles, con el objetivo de determinar cuantitativamente la jerarquía aeroportuaria de carga, no solo en términos de “throughput” anual, sino también en lo que respecta a la influencia (centralidad) de esos mismos nodos. Los resultados muestran que los nodos aéreos de mercancías españoles han perdido vínculos en una media de 4 conexiones comerciales. Esta pérdida de conectividad generalizada en el sistema aeroportuario español se traduce también en el descenso de la «clusterización» promedio, lo que indica una red menos cohesionada; y en la proliferación de sub-comunidades, lo que refuerza la hipótesis de la pérdida generalizada de relevancia de los principales “hubs” de carga aérea españoles.

Referencias

- Air Transport Action Group (ATAG) (2014). *Aviation: Benefits beyond borders 2014*. Recuperado de <http://www.atag.org/our-publications/latest-publications.html>
- Gundelfinger, J.; Coto-Millán, P. (2017). Measuring Conduct in the Spanish Air Transport Industry. *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 9, 26-46.
- IATA Air Cargo. (2016). *Enabling global trade*. Recuperado de <http://www.iata.org/whatwedo/cargo/Pages/index.aspx>
- International Air Transport Association (IATA) (2013). Fast travel program. Recuperado de <https://www.iata.org/whatwedo/passenger/fast-travel/Documents/Fast-Travel-Program-Strategy-V6.pdf>
- Inglada, V.; Coto-Millán, P.; Inglada-Pérez, L. (2017). Evaluación de la productividad y eficiencia en los aeropuertos españoles después de la liberalización del transporte aéreo. *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 9, 99-112.
- Kalakou, S.; Moura, F., García-Melero, G. (2017). Factores que afectan al comportamiento de los pasajeros y a sus actividades en las terminales aeroportuarias. *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 9, 5-25.
- Martínez, V.; Mateo-Mantecón, I.; Sainz, R. (2017). El sistema aeroportuario español. Un análisis de concentración y volatilidad. *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 9, 47-73.
- Pais Montes, C.; Freire Seoane, M.J.; González Laxe, F. (2017). La conectividad en el sector español de carga aérea: 2004-2014. *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 9, 113-138.
- Salazar de la Cruz, F. de P. (2017). Variables económicas y tráfico aeroportuario. *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 9, 74-98.
- World Tourism Organisation (WTO) (2014). *Understanding tourism: Basic glossary*. Recuperado de <http://media.unwto.org/content/understanding-tourism-basic-glossary>



Facultad
de Ciencias
Económicas y
Empresariales

Departamento
de Economía
Aplicada y
Estadística



**Revista de Evaluación de
Programas y Políticas Públicas**
JOURNAL OF PUBLIC PROGRAMS AND POLICY EVALUATION

Factores que afectan al comportamiento de los pasajeros y a sus actividades en las terminales aeroportuarias

Factors affecting passenger activity behavior in the airport terminal

Núm. 9 (2017), pp. 5-25

Kalakou, Sofia *

Moura, Filipe **

García-Melero, Gustavo ***

Recibido: **octubre, 2016**

Aceptado: **diciembre, 2017**

JEL Clasif: C01, C25, C51, D12, L93

DOI: [10.5944/reppp.9.2017.20084](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.20084)

* **SOFIA KALAKOU:** Associate en VTM-Consultores & Investigador en CERIS Group en Instituto Superior Técnico, Universidad de Lisboa, CESUR, DeCIVIL, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001, Lisboa, Portugal. E-mail: sophia.kalakou@vtm-global.com

** **FILIPE MOURA:** Profesor en Instituto Superior Técnico, Universidad de Lisboa, CESUR, DeCIVIL, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001, Lisboa, Portugal. E-mail: fmoura@tecnico.ulisboa.pt

*** **GUSTAVO GARCÍA-MELERO:** Profesor en Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería de Transporte, Avenida Brasil, 2147, Valparaíso, Chile. E-mail: gustavo.garcia@pucv.cl

Resumen

En los últimos años el número de pasajeros está creciendo continuamente en el sector aéreo y no se prevé que esta tendencia disminuya en el futuro. El comportamiento de los pasajeros en las terminales aeroportuarias ha sido poco explorado en la literatura, a pesar de la relevancia de su estudio. El objetivo de este trabajo es analizar los patrones de comportamiento en la llegada de los pasajeros al Aeropuerto Internacional de Lisboa, identificando los factores que les afectan, a través de la modelización de las llegadas de pasajeros a la terminal mediante modelos de elección discreta. Los resultados indican que la hora del vuelo, el lugar de residencia, el modo de acceso a la terminal, el destino del vuelo y la frecuencia de viaje inciden sobre los patrones de llegada a la terminal respecto a la apertura de los mostradores de facturación. Estos resultados son relevantes para las configuraciones futuras de la terminal aeroportuaria.

Palabras clave: Aeropuerto; Modelos de elección discreta; Lisboa; Portugal

Abstract

In recent years the number of passengers is continuously growing in the air sector and this trend is not expected to decline in the future. The passengers' behavior in the airport terminals has not been explored deeply in the literature, despite the relevance of their study. The aim of this work is to analyze the arrival patterns of passengers in the Lisbon International Airport, through the modelling of passenger arrivals to the terminal using discrete choice models. The results indicate that flight departure time, place of residence, mode of access to the terminal, flight destination and frequency of travel affect the arrival patterns to the terminal regarding the opening of the check-in counters. These results are relevant for future configurations of the airport terminal.

Key Words: Airport; Discrete Choice Models; Lisbon; Portugal

1. Introducción

Cada aeropuerto cumple con una amplia variedad de funciones y atiende a una gran diversidad de usuarios. Se pueden identificar tres grandes categorías de actividades aeroportuarias: servicios operativos esenciales, servicios de gestión del tráfico y servicios comerciales (Doganis, 1992). Los aeropuertos ofrecen una amplia variedad de servicios relacionados tanto con la preparación de los pasajeros para su viaje, como con su tiempo libre dentro de la terminal. En una terminal aeroportuaria se procesa el registro de los pasajeros y del equipaje, se conectan los pasajeros y el equipaje a las aeronaves, se transporta a los pasajeros entre vuelos, se acomodan los movimientos de las aeronaves y se provee espacio para áreas comerciales que ayudan a financiar el aeropuerto, entre otros.

Las instalaciones comerciales más comunes, no aeronáuticas, que se ubican en una terminal aeroportuaria son las tiendas libres de impuestos, las de regalos y prensa, las de alimentos y bebidas, las de productos especializados, así como los bares y restaurantes, que en conjunto satisfacen las necesidades más básicas de los pasajeros. En muchos aeropuertos se ofrecen actividades más especializadas (por ejemplo, centros de convenciones, hoteles, casinos, instalaciones recreativas), cuyo número y variedad han aumentado considerablemente en los últimos años, especialmente en las terminales con operaciones internacionales.

Aunque en muchos aeropuertos se pueden encontrar una amplia gama de actividades, no todos los pasajeros participan en todas ellas ni en las mismas actividades. El uso de estas áreas comerciales depende de factores que han sido poco explorados en la literatura. Obviamente, las preferencias de los pasajeros pueden diferir según sus características y las del propio aeropuerto, pero un factor determinante en la realización de actividades es el tiempo que los pasajeros tienen disponible en la terminal. Es de esperar que cuanto antes lleguen los pasajeros, más probable es que realicen actividades no aeronáuticas, pero el tiempo que los pasajeros pasan en los aeropuertos varía enormemente.

La complejidad en la vida de los aeropuertos se ha incrementado con el creciente número de pasajeros de los últimos años, y aún más lo hará en el futuro con las previsiones existentes (Banco Mundial, 2017). Para el año 2027 se prevé que los aeropuertos de todo el mundo manejarán 11.000 millones de pasajeros, dejando un déficit de capacidad de 1.000 millones de pasajeros (Airport World, 2015).

De acuerdo con la *International Air Transport Association* (IATA, 2013), alrededor de 3 mil millones de personas utilizaron el transporte aéreo por necesidades empresariales y turísticas en 2013, y según la *World Tourism Organisation* (WTO, 2014), alrededor del 51 % de los turistas internacionales eligieron el avión para su transporte. La demanda aérea crece continuamente y está creando presión sobre los aeropuertos, los cuales deben asegurar que su capacidad se adapta adecuadamente tanto a las aeronaves como a los pasajeros. En este contexto, el papel de los pasajeros en las operaciones de los aeropuertos ha cambiado, ya que ahora son vistos como los clientes directos del aeropuerto, lo cual se aleja de la visión conservadora y anticuada de ser solamente clientes de la línea aérea (Graham, 2014). Por lo tanto, el incremento de los volúmenes de tráfico aéreo conlleva la necesidad de comprender mejor el comportamiento de los pasajeros, lo que supone un gran desafío ya que estamos ante una población cambiante. La demanda ha ido aumentando, pero algunos autores (Alegre, Mateo & Pou, 2009) sostienen que

esto se atribuye a incrementos en la frecuencia de viaje de los pasajeros más que a un aumento real en el número de personas que viajan. Este argumento se puede aplicar especialmente al turismo moderno, que se caracteriza por estancias breves y frecuentes repartidas a lo largo del año (Salmasi, Celidoni & Procidano, 2012; Ferrer-Rosell, Martínez-García & Coenders, 2014), y para los viajes de negocios que cada vez son mayores (Barros & Machado, 2010; Castillo-Manzano, Lopez-Valpuesta & Gonzalez-Laxe, 2011). El efecto del envejecimiento de la población es otro de los elementos a considerar en la gestión de los aeropuertos, ya que se estima que para el año 2050 la población de 60 años o más, realizará más de 2.000 millones de viajes internacionales, mucho más que los 593 millones que realizaron en 1999 (Losada, Alén, Domínguez & Nicolau, 2016).

La comprensión del comportamiento de los pasajeros sigue estando poco explorada, especialmente en el sector aéreo. Algunos estudios muestran información respecto a los tiempos de llegada de pasajeros en las terminales aeroportuarias. En particular, dicha información se presenta en estudios que pretenden simular procedimientos que involucran a los pasajeros, con el fin de evaluar el desempeño de los procesos de facturación, seguridad y equipaje. En este marco, se puede destacar el estudio realizado para simular los movimientos de los pasajeros y optimizar la asignación de los mostradores de facturación en el Aeropuerto Internacional de Seúl (Park & Ahn, 2003), en el que se asumió:

- El 15 % de los pasajeros de larga y corta distancia llegan 140 y 130 minutos, respectivamente, antes de la salida del vuelo al mostrador de facturación.
- El 45 % de los pasajeros de larga y corta distancia llegan 90 y 60 minutos, respectivamente, antes de la salida del vuelo al mostrador de facturación.
- El 40 % de los pasajeros de larga y corta distancia llegan 60 y 40 minutos, respectivamente, antes de la salida del vuelo al mostrador de facturación.

Los autores llevaron a cabo una encuesta para verificar sus supuestos y validaron que el número promedio obtenido, a partir de los comportamientos de llegada de los pasajeros de larga y corta distancia, coincidía con sus supuestos. En otros estudios en los que se evalúa la eficiencia operativa en el procesamiento de pasajeros (Van Boekhold, Faghri & Li, 2014), se sostiene que estos llegan entre 1 y 4 horas antes de la salida del vuelo, utilizándose las indicaciones de *International Air Transport Association* (IATA, 2004) para la simulación de los tiempos de llegada de los pasajeros. Para la simulación de procesos en el Aeropuerto de Amsterdam (Joustra & Van Dijk, 2001), se obtuvo que el 10 % de los pasajeros llegan 240 minutos antes de la salida, el 25 % entre 240 y 210, el 25 % entre 210 y 180, el 20 % entre 180 y 150, el 7 % entre 150 y 120, el 10 % entre 120 y 90, y el 3 % restante lo hacen cuando quedan menos de 90 minutos.

Otros estudios que han considerado el tiempo disponible de los pasajeros en las terminales aeroportuarias han analizado los factores impulsores del consumo y la generación de ingresos no aeronáuticos en los aeropuertos. En este contexto, cabe destacar el estudio realizado en el Aeropuerto de Oviedo (Torres, Domínguez, Valdés & Aza, 2005) donde se obtuvo que los ingresos están correlacionados con el tamaño de la zona comercial disponible, así como con el tiempo que los pasajeros tienen disponible en la terminal antes de la salida del vuelo, pero, sin embargo, no demostraron que exista una relación entre la cantidad gastada y el tiempo disponible.

Resultados similares se obtuvieron en el estudio realizado a partir de una muestra de 7 aeropuertos regionales españoles (Castillo-Manzano, 2010), donde se obtuvo que el tiempo de espera antes del embarque afectaba a la decisión del pasajero sobre sus consumos o compras en el área comercial de la terminal. En particular, se estimó la probabilidad de que un pasajero realice un gasto en función del tiempo de espera disponible en el aeropuerto: «si el tiempo de espera excede a una hora, hay un aumento del 10 % en la probabilidad de consumir algún alimento o bebida y un aumento del 6 % en la probabilidad de hacer una compra. Una vez que se ha tomado la decisión de gastar dinero, la cantidad aumentará con el tiempo. En un caso extremo, si el tiempo de espera excede de 3 horas, la probabilidad de que se consuman alimentos y bebidas y se realice una compra aumenta en 31 % y 19 %, respectivamente, y la cantidad gastada aumenta en casi 41 %».

En un estudio realizado en el Aeropuerto de Taiwan (Lin & Chen, 2013), se demostró que la presión del tiempo modera la relación entre las motivaciones comerciales y las actividades comerciales. En otros estudios (Tosic, 1992), se consideró que los viajeros de vacaciones y de ocio es probable que pasen más tiempo en la terminal en comparación con los viajeros de negocios por causa de niveles diferentes de presión de tiempo.

Los aeropuertos han desarrollado muchas actividades no aeronáuticas antes y después del control de seguridad, donde los pasajeros pueden ocupar su tiempo. Existen estudios (Ma y Yarlagadda, 2012), en los que se han empleado modelos basados en el agente (pasajero), incorporando las actividades no aeronáuticas como variables, que han llegado a clasificarlas en 10 categorías según sus propósitos (servicios de información, servicios monetarios, servicios de ayuda, relajación básica, conectividad social, autoservicio rápido, tiendas, declaración de impuestos y servicios relacionados con la religión). En estos estudios se estimaron las probabilidades condicionales de realizar cada actividad mediante el uso de redes bayesianas. Por otro lado, también existen otras clasificaciones de las actividades aeroportuarias no aeronáuticas (Popovic, Kraal & Kirk, 2010): aquellas actividades opcionales relacionadas con el viaje, tales como el cambio de divisas, y aquellas actividades no relacionadas con el viaje como pueden ser las compras. En este mismo estudio también se identificaron 4 patrones de actividad: actividades en grupo, concurrentes, individuales y relacionadas con las pertenencias personales de los pasajeros.

Cada vez es mayor la complejidad de las características de los pasajeros, lo cual lleva a que los gestores de aeropuertos quieran comprender mejor la variedad de pasajeros existente, planifiquen sus instalaciones para ajustarlas a sus necesidades y motivaciones y asignen adecuadamente el espacio disponible (Graham, 2014). Los factores psicológicos han sido investigados en el contexto del comercio minorista, ya que la planificación previa de las actividades que los pasajeros realizan dentro del aeropuerto podría estar relacionada con el uso de estas áreas. Se ha encontrado que el gasto minorista está positivamente relacionado con el exceso de disponibilidad de tiempo (Torres *et al.*, 2005; Castillo-Manzano, 2010; Bohl, 2014). Por otro lado, el concepto de «curva de tensión de viaje» refleja los cambios en los niveles de estrés durante el tiempo previo a la salida del vuelo; el período entre el control de inmigración y el control de seguridad en la puerta de embarque es el período menos estresante y genera oportunidades para actividades no aeronáuticas. En el mismo estudio, los pasajeros indicaron que eran más propensos a comprar después de pasar por el control del aeropuerto que antes; estar en un aeropuerto no es una actividad diaria cotidiana y, de hecho, aumenta los niveles de estrés de

los pasajeros. Este período se conoce como la «hora feliz», lo que sugiere que las compras en el aeropuerto se tratan de manipular en esta «hora feliz». Teniendo en cuenta las largas distancias que los pasajeros tienen que cubrir en la terminal del aeropuerto, esta «hora feliz» puede ser explotada de manera eficiente y ofrecer a los pasajeros un ambiente agradable en el que pueden pasar su tiempo antes de abordar (Volkova, 2009).

En definitiva, las investigaciones realizadas hasta la fecha muestran que el tiempo disponible en el aeropuerto puede afectar las actividades y los ingresos no aeronáuticos. Asimismo, el tiempo disponible en la terminal del aeropuerto está en función de la hora de llegada del pasajero y del tiempo necesario para realizar las actividades aeronáuticas, es decir, la facturación, el control de seguridad, aduanas e inmigración. En este estudio analizaremos los patrones de comportamiento en la llegada de los pasajeros al Aeropuerto Internacional de Lisboa, e identificaremos los factores que les afectan.

2. Marco teórico en la modelización de preferencias de las actividades de pasajeros

En este apartado se presenta el marco teórico empleado para la modelización de las preferencias de los pasajeros respecto a sus actividades, que fundamentalmente se basa en los Modelos de Elección Discreta (MED). Los modelos desagregados de demanda (o MED) tienen su fundamento en las elecciones observadas a nivel individual, y consideran que los individuos toman decisiones en forma racional, es decir, maximizando su utilidad individual. Las probabilidades de elección dependen del atractivo de cada alternativa y de las características socioeconómicas de los individuos.

Los MED consideran a una población de individuos que actúan de manera racional en la maximización de su utilidad neta personal *-homo economicus-* sujetos a restricciones ambientales, legales, sociales, físicas o presupuestarias. De este modo, el conjunto de alternativas sobre las cuales el individuo debe escoger está predeterminado, es decir, el efecto de las restricciones ya se ha tenido en cuenta, no afecta ni en la determinación del conjunto de alternativas disponibles, ni en el proceso de selección de la opción más conveniente. Los MED se utilizan para modelizar la elección de un decisor sobre un conjunto definido de alternativas. Su objetivo es utilizar los atributos de las diferentes alternativas, las características del tomador de decisiones o las interacciones de estos factores para explicar la elección del tomador de decisiones.

La teoría de la utilidad aleatoria supone que existe un cierto conjunto $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ correspondiente a las alternativas disponibles para los individuos de la población. Para un individuo en particular, el conjunto de alternativas disponibles “ q ” es: $A(q) \in A$. Además, existe un conjunto X de vectores de características de los individuos y atributos, que se pueden medir para cada individuo.

Debido a que el investigador no posee información completa existen situaciones en las cuales dos individuos, aparentemente idénticos y sometidos al mismo conjunto de alternativas, se comportan de manera diferente. Un individuo puede elegir una opción que no es la que otorga mayor utilidad según lo estimó el modelo, por lo que se agrega un término estocástico (ε_{iq}) a la función de utilidad, que captura los errores del modelo procedentes de varias fuentes posibles: atributos alternativos no observados, características

individuales no observadas, errores de medición o variables proxy (Ben-Akiva y Lerman, 1985), quedando de la siguiente forma:

$$U_{iq} = V_{iq} + \mathcal{E}_{iq} \quad (1)$$

donde

$$V_{iq} = \sum_{k=1}^K \theta_{ik} X_{ikq} \quad (2)$$

De esta forma, un individuo q escogerá A_i , si y solo si:

$$U_{iq} \geq U_{jq}, \forall A_i \in A(q) \quad (3)$$

Como se desconocen los términos estocásticos, se debe especificar una probabilidad de elección de A_i :

$$P_{iq} = \text{prob} \left\{ \mathcal{E}_{iq} \geq \mathcal{E}_{jq} + V_{jq} - V_{iq}, \forall A_i \in A(q) \right\} \quad (4)$$

Pueden utilizarse diferentes tipos de variables: genéricas para todas las alternativas, específicas para algunas de las alternativas, o socioeconómicas relacionadas con las características de los tomadores de decisiones.

3. Aeropuerto Internacional de Lisboa

El Aeropuerto Internacional de Lisboa, conocido como Aeropuerto de Portela y desde Mayo de 2016 denominado como Aeropuerto Humberto Delgado, es el más grande de Portugal. Está situado a 7 kilómetros al norte de Lisboa y está conectado a las redes de metro y autobús público, lo que facilita su conectividad.

En 2015 el número total de pasajeros atendidos era de alrededor de 20 millones, dispone de conexiones con más de 130 destinos y operan más de 40 aerolíneas.

Cuenta con dos pistas de aterrizaje y dos terminales de pasajeros, que están comunicadas entre sí mediante un servicio gratuito de autobús. En la terminal 1 se operan los vuelos internacionales y en la terminal 2 los vuelos de las compañías *lowcost*.

Existen diferentes actividades discrecionales en las terminales, los pasajeros pueden disponer de servicios para alquiler de coches, cambio de divisas, consigna de equipaje, tiendas libres de impuestos, etc.

El alcance de este estudio ha llevado a que el trabajo de campo se haya desarrollado en la zona de la terminal dedicada a las salidas de vuelos, siendo en esta zona donde se realiza la facturación y el control de seguridad.

4. Determinación de los factores que afectan al comportamiento de los pasajeros

Se realizó una encuesta de preferencias reveladas para recopilar información sobre las actividades de los pasajeros dentro de la terminal, desde su llegada al aeropuerto hasta el paso del área de seguridad. Los pasajeros que participan en programas especiales de viajero frecuente fueron excluidos, ya que fueron atendidos en controles de seguridad separados. Asimismo, se excluyó a los pasajeros de bajo coste porque son atendidos en una terminal exclusiva de bajo coste. Los pasajeros con movilidad restringida y los pasajeros que viajan con bebés también fueron excluidos, ya que utilizan zonas exclusivas. La recopilación de datos tuvo lugar durante la primera semana de Marzo de 2014 de 10 a 21 horas, fue aleatoria (sin foco específico en un tipo de pasajero). Los pasajeros fueron solicitados aleatoriamente para participar en uno de los siguientes pasos de su experiencia de viaje (antes del control de seguridad):

- En los lugares de actividades discrecionales,
- mientras camina alrededor, y
- en el área de control de seguridad.

A todos los pasajeros que participaron en la encuesta se les hicieron preguntas relacionadas con las áreas mencionadas y también se requirió su itinerario en la zona existente antes del control de seguridad. Los pasajeros de último minuto no fueron capturados adecuadamente en la encuesta. Se recogieron 529 respuestas válidas completas de las cuales 86 eran pasajeros en tránsito. Del total de encuestas realizadas 47 % corresponden a viajeros que llegaron antes y 53 % a viajeros que llegaron después de la apertura de la facturación.

El comportamiento de los pasajeros está influenciado por aspectos relacionados con el tiempo, sus características sociodemográficas personales, los detalles del viaje, sus planes de actividad y la percepción que tienen sobre la configuración del edificio. Por lo tanto, la encuesta se estructuró en 5 partes que se referían a las áreas antes mencionadas:

1. **Tiempo:** Se solicitó a los pasajeros que proporcionaran el horario de salida del vuelo y con cuánto tiempo de antelación llegaron al aeropuerto, el tiempo empleado en la facturación (si era necesaria), la hora a la que planearon llegar o llegaron al área de seguridad y cuándo les gustaría llegar a su puerta de embarque. Este tipo de información proporcionó conocimiento sobre las preferencias de tiempo de los pasajeros y el tiempo de riesgo que deciden tomar.

2. **Información personal:** Para poder relacionar las elecciones de los pasajeros con los tipos de pasajeros, se recopiló información personal: edad, sexo, propósito del viaje, nacionalidad, ciudad de residencia, frecuencia del viaje aéreo, estrés por vuelo, estrés por el tiempo y familiaridad con el edificio del aeropuerto.

3. **Información sobre el viaje aéreo:** La información pertinente sobre el viaje aéreo se refiere a los siguientes elementos: línea aérea, destino, número de equipajes, modo de facturación y modo de llegada al aeropuerto. Además, se solicitó a los pasajeros que informaran del número de pasajeros con los que viajaban, el número de no viajeros con los que llegaron al aeropuerto y, en el caso de que llegaran en coche, si utilizaban el

estacionamiento o no.

4. **Actividades:** Se solicitó a los pasajeros reportar las actividades que realizaron dentro del aeropuerto desde que llegaron a la terminal hasta llegar a la zona del control de seguridad. De este modo, se puede identificar los principales atractivos que hacen que los pasajeros se desvíen de su próximo paso (control de seguridad).

5. **Orientación:** Se recogieron las cuestiones pertinentes a la facilidad para moverse dentro del edificio. Se les pidió a los pasajeros que recordasen si usaban las pantallas de información de vuelo y la señalización, si se perdían dentro del edificio y si usaban algún punto de referencia. Finalmente, atribuyeron al edificio un valor como un indicador de evaluación para la orientación.

A continuación, se presentan distintas figuras y tablas que recogen información estadística relacionada con la muestra recolectada, segmentada en dos grupos: pasajeros que llegan antes y después de la apertura de los mostradores de facturación de su vuelo. La Figura 1 muestra información personal sobre los pasajeros: si son hombres, si son portugueses, su frecuencia de viaje (menos de 3 veces al año (frec_1); 4-10 veces (frec_2); y más de 10 (frec_3)), si usan el aeropuerto por primera vez, si están familiarizados con la configuración del aeropuerto, si están estresados para llegar a su puerta, si tienen miedo de volar, si viven en la zona de Lisboa y si llegan solos al aeropuerto. Se observa un comportamiento similar de las variables asociadas al estrés, al miedo y a llegar solo al aeropuerto. Sin embargo, predominan entre los que llegan después del comienzo de la facturación aquellos que declaran ser hombres, portugueses, estar familiarizados y que residen en la zona de Lisboa. Respecto a la frecuencia de viaje, aquellos que viajan menos llegan antes y a medida que aumenta la frecuencia de viajes también se incrementa el número de pasajeros que llegan después. Finalmente, aquellos que viajan por primera vez llegan antes en un mayor porcentaje.

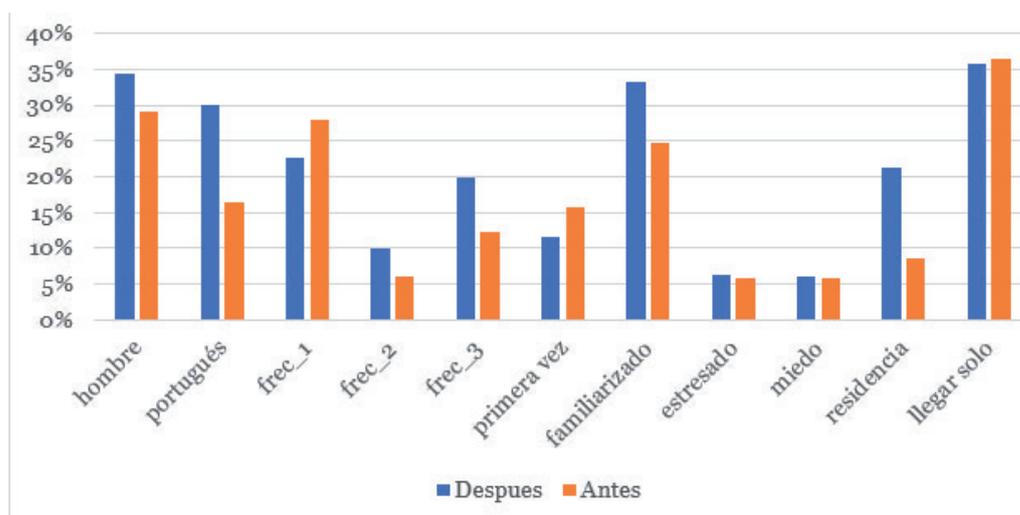


Figura 1. Información personal

Tabla I. Información personal.

	Después	Antes	% sobre total muestra
frec_1	23 %	28 %	50,56 %
frec_2	10 %	6 %	16,03 %
frec_3	20 %	12 %	32,05 %
primer viaje	1 %	1 %	1,35 %
hombre	34 %	29 %	63 %
mujer	19 %	18 %	37 %
portugués	30 %	16 %	47 %
no portugués	23 %	31 %	53 %
primera vez	12 %	16 %	47 %
no primera vez	23 %	31 %	53 %
familiarizado	33 %	25 %	58 %
no familiarizado	20 %	22 %	42 %
estresado	6 %	6 %	12 %
no estresado	41 %	47 %	88 %
miedo	6 %	6 %	12 %
no miedo	47 %	41 %	88 %
residencia	21 %	9 %	30 %
no residencia	32 %	38 %	70 %
llegar solo	36 %	36 %	72 %
no llegar solo	17 %	11 %	28 %

En la Figura 2 vemos información relativa al vuelo como el propósito por el que viajaban (asuntos personales, business o turismo), si tenían equipaje para registrar y cómo se registraron (online, counter o machine), el tipo de destino del pasajero (Schengen, doméstico), si el viaje es al destino final, cuántos viajaron durante el fin de semana y en horas de la mañana antes de las 12 pm. Se observa un comportamiento similar para casi todas las variables, pero cabe destacar la dominancia que presenta el llegar después para los viajeros por negocios, los que viajan antes de las 12 pm y aquellos que realizan la facturación online.

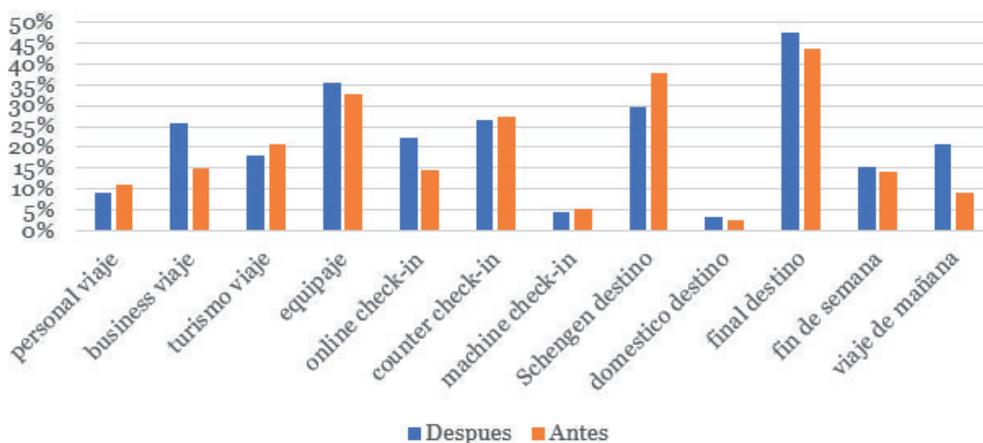


Figura 2. Información del vuelo.

Tabla 2. Información del vuelo.

	Después	Antes	% sobre total muestra
personal	9 %	11 %	20 %
business	26 %	15 %	41 %
turismo	18 %	21 %	39 %
online	22 %	15 %	37 %
counter	26 %	27 %	54 %
machine	4 %	5 %	9 %
Schengen destino	30 %	38 %	67 %
domestico destino	3 %	3 %	6 %
internacional	20 %	6 %	27 %
final destino	47 %	44 %	91 %
no final destino	6 %	3 %	9 %
fin de semana	15 %	14 %	30 %
no fin de semana	38 %	33 %	70 %
viaje de mañana	21 %	9 %	30 %
no viaje de mañana	32 %	38 %	70 %
equipaje	36 %	33 %	69 %
no equipaje	17 %	14 %	31 %

La Figura 3 muestra las estadísticas sobre cuántos pasajeros habían planeado sus actividades antes de llegar al aeropuerto, cuántos ubicaron su puerta antes, cuántos pasajeros realizaron su embarque directamente después del control de seguridad, si se sintieron confundidos o perdidos y, cuántos pasajeros siguieron la señalización. El comportamiento es similar para todas las variables excepto para aquellos que han planeado sus actividades antes de llegar al aeropuerto, donde predominan los que llegan después.

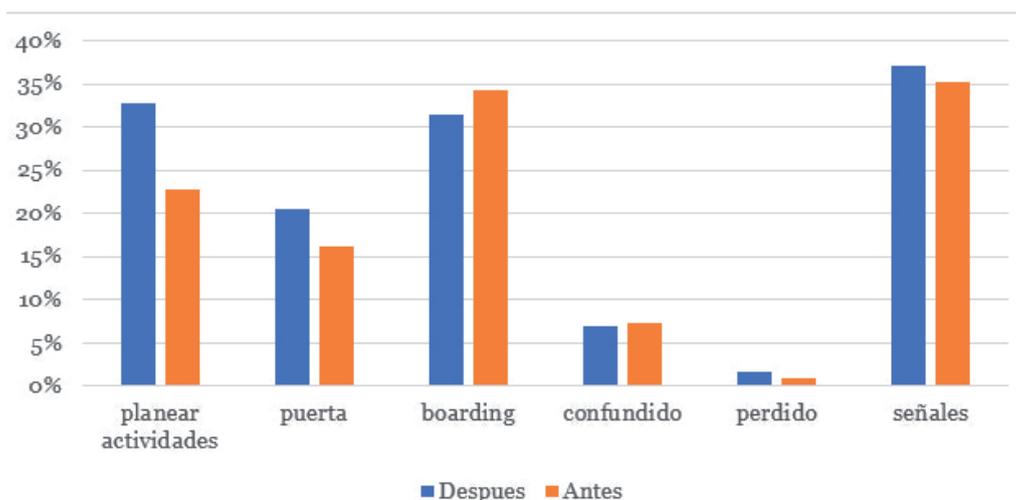


Figura 3. Información del comportamiento y percepción.

Tabla 3. Información del comportamiento y percepción.

	Después	Antes	% sobre total muestra
planear actividades	33 %	23 %	56 %
no planear actividades	20 %	24 %	44 %
puerta	21 %	16 %	37 %
no puerta	32 %	31 %	63 %
boarding	31 %	34 %	66 %
no boarding	22 %	13 %	34 %
confundido	7 %	7 %	14 %
no confundido	46 %	40 %	86 %
perdido	2 %	1 %	2 %
no perdido	51 %	46 %	98 %
señales	37 %	35 %	72 %
no señales	16 %	12 %	28 %

La Figura 4 presenta el modo de llegada al aeropuerto: taxi, autobús, metro, coche propio, coche alquilado y coche acompañante. Se observa que los pasajeros que acceden en taxi, en coche propio o en coche acompañante llegan después en mayor porcentaje, mientras que aquellos que llegan en autobús, metro o en coche alquilado lo hacen antes.

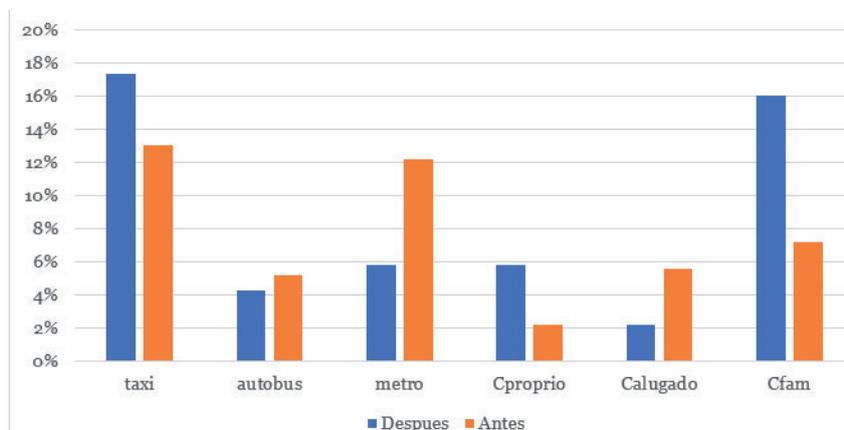


Figura 4. Información del modo de llegada.

Tabla 4. Información del modo de llegada.

	Después	Antes
taxi	17 %	13 %
autobus	4 %	5 %
metro	6 %	12 %
Cproprio	6 %	2 %
Calugado	2 %	6 %
Cfam	16 %	7 %
otro	1 %	2 %

Se calcularon las correlaciones entre todas las variables presentadas anteriormente y los resultados no mostraron correlaciones considerables ($> 0,19$) estadísticamente significativas. Para las variables binarias se calculó el coeficiente Phi y para las variables continuas se probaron los coeficientes de Pearson y Spearman. No es sorprendente que los valores más altos se hayan reportado para los pasajeros portugueses que estén familiarizados con el aeropuerto (0,44). Además, observamos que existe correlación entre los pasajeros que son portugueses pero no viven en la zona de Lisboa (-0,41), ya que Portela es el principal aeropuerto portugués. Por último, los pasajeros que llegan solos están inversamente correlacionados con llegar en coche (-0,43).

La Figura 5 presenta el número de actividades no aeronáuticas realizadas por los pasajeros en su experiencia en la terminal, desde el momento en que llegaron al aeropuerto hasta llegar al control de seguridad. El 39 % de los pasajeros no realizó ninguna actividad, el 44 % realizó una actividad no aeronáutica, el 12 % 2 actividades, el 4 % 3 actividades y solo el 1 % más de 3.

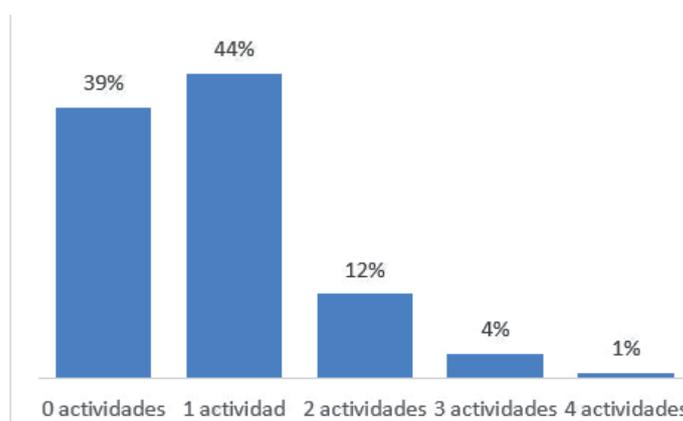


Figura 5. Información de las actividades.

Antes del control de seguridad, el 33,8 % de los pasajeros restringía sus actividades a las tareas aeronáuticas relacionadas con su viaje. Casi uno de cada 8 pasajeros (12,9 %) fue directamente al control de seguridad después de llegar al aeropuerto. En general, el 47 % de los pasajeros realizaba solo actividades aeronáuticas antes de la seguridad y el 53 % optaba también por realizar actividades discrecionales. Después de la seguridad, la mayoría de los pasajeros dijeron que estaban planeando ir a tiendas y áreas de alimentación. La mayoría de los pasajeros (35,2 %) utilizaron la zona de facturación y eligieron realizar una actividad discrecional que podría ser una visita a una zona de alimentación, una zona de venta al por menor o la zona de salón.

El patrón de llegada de pasajeros se presenta en la Figura 6 en intervalos de tiempo de 20 minutos. Se observa un pico en el período de tiempo 120-160 minutos antes de la salida del vuelo. En el Aeropuerto de Lisboa, en 2014 los mostradores de facturación estaban abiertos para el registro de pasajeros y equipajes 120 y 180 minutos antes de la salida de los vuelos a los destinos de Schengen y no Schengen, respectivamente. Una pequeña proporción de las líneas aéreas establecidas en el aeropuerto abren sus mostradores 240 minutos antes de las salidas de vuelo para los destinos en África. La Figura 6 muestra que las llegadas de pasajeros en el aeropuerto se vuelven más elevadas poco antes de la apertura de los mostradores de facturación de vuelos con destinos

de Schengen. También se presenta que un pequeño porcentaje de pasajeros llega antes de las 4 horas antes de la salida de su vuelo. Teniendo en cuenta el hecho de que el Aeropuerto de Lisboa tiene conexiones directas desde el centro de la ciudad a través de un autobús y una línea de metro, y se encuentra a una distancia de 7 km del centro de la ciudad, se explica el hecho del pico de llegadas antes de la apertura de Schengen. Como el tráfico de pasajeros del aeropuerto ha estado aumentando durante los últimos 5 años, es probable que los pasajeros que viajan al aeropuerto se comporten impulsados por la incertidumbre de su hora de llegada al aeropuerto y la ansiedad de llegar a su puerta a tiempo y no perder el vuelo. El alto nivel de conectividad de los transportes al aeropuerto puede justificar las densas llegadas al margen del horario propuesto de llegada desde el punto de vista del aeropuerto, cercano a la apertura de los mostradores.

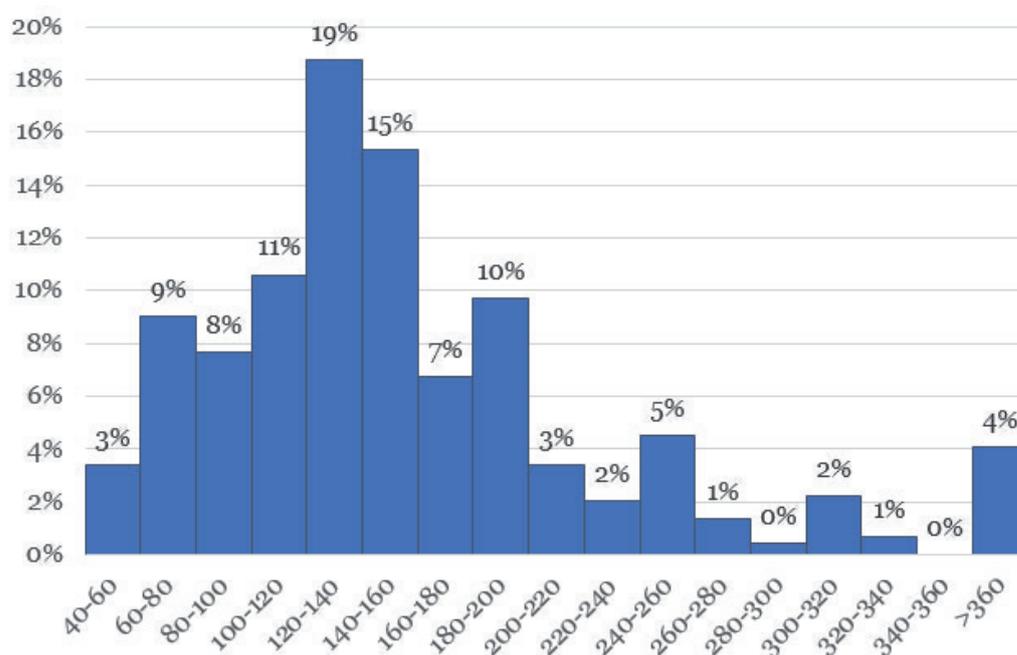


Figura 6. Patrón de llegada de los pasajeros.

En comparación con las normas internacionales y los patrones utilizados para propósitos de planificación, como los de la *International Air Transport Association* (IATA, 2004), se observa que nuestro patrón de llegada está sesgado hacia la derecha (más alejado de la llegada del vuelo), en aproximadamente 40 minutos. Esto puede tener implicaciones significativas para el uso del espacio del aeropuerto y el nivel de servicio proporcionado. Sin embargo, este patrón de llegada no difiere significativamente de los resultados que se encuentran en la literatura relativos a otros aeropuertos.

En la Figura 7 se puede observar los patrones de llegada de los pasajeros en base a si realizan 0, 1, 2 o 3 actividades no aeronáuticas antes del control de seguridad. Existe una tendencia a realizar más actividades a medida que los pasajeros llegan antes, mientras que la mayoría de los pasajeros que no realizan actividades llegan más tarde. Se observa un comportamiento similar cuando los pasajeros llegan cerca de la apertura de los vuelos Schengen.

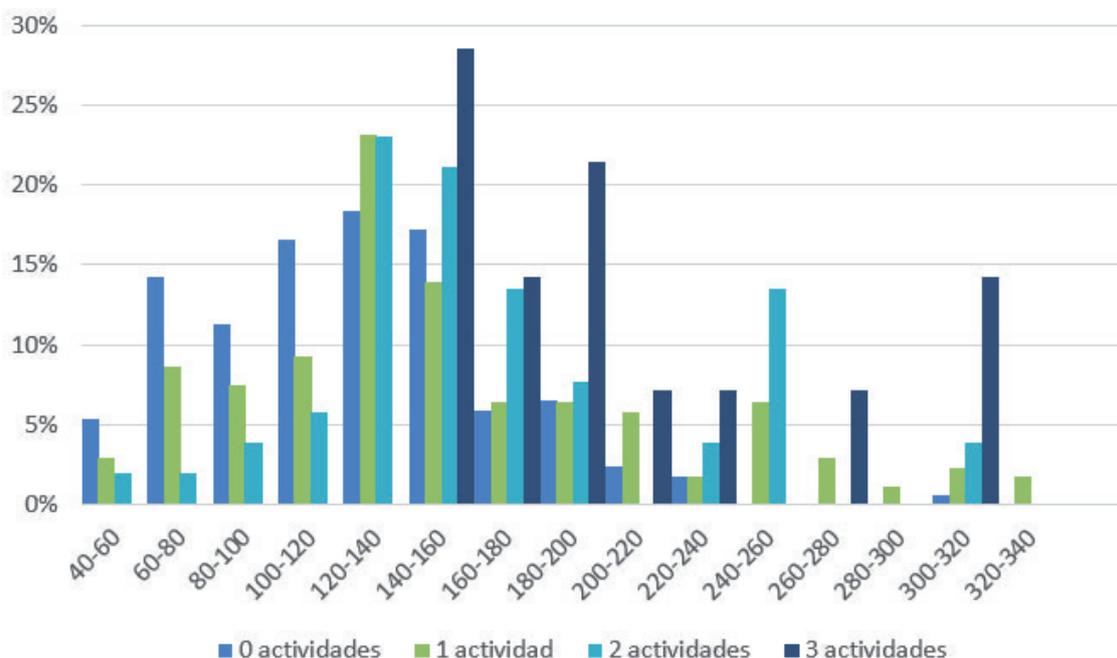


Figura 7. Patrón de llegada por grupo de actividad

En la siguiente sección, se trata de explicar los factores que afectan a la llegada de los pasajeros antes o después de la apertura de los mostradores de facturación de equipaje.

5. Modelización de las llegadas de pasajeros a la terminal

Las elecciones de los pasajeros fueron modeladas en SPSS. Inicialmente, intentamos estimar un modelo lineal con los tiempos reales de llegada de pasajeros medidos en minutos antes de la salida del vuelo. Para la estimación del modelo solo se utilizaron observaciones de pasajeros de salida; los pasajeros en tránsito fueron excluidos. Sin embargo, no se derivó una explicación clara del análisis. En consecuencia, modelizamos la llegada de los pasajeros con la apertura de la facturación de su vuelo como punto de referencia. Como hay límites en la salida de pasajeros (horarios de vuelo), el tiempo con que los pasajeros llegan al aeropuerto antes de la salida de su vuelo es un factor de planificación determinante; las llegadas tempranas de pasajeros implican una mayor concentración de pasajeros en la terminal. Un punto de referencia para las llegadas de pasajeros es la apertura de los mostradores de facturación dentro del aeropuerto. Por este motivo, la elección de los pasajeros para llegar al aeropuerto antes (alternativa «antes») o después (alternativa «después»), de la apertura de los mostradores de facturación, fue modelizada para analizar los factores que la afectan y luego explorar cómo las probabilidades de elección de llegada cambiarían al asumir cambios en las características de la población. La elección no fue dada como una respuesta del pasajero, pero fue calculada por los autores basándose en la hora de llegada y la salida del vuelo.

Dado que la naturaleza de la elección no depende de atributos específicos de las alternativas, sino más bien de la propensión a una acción desde el lado del viajero, solo se usaron características de pasajeros en la especificación del modelo. El modelo describe el efecto de las características de los pasajeros que inician su viaje (salidas) en sus preferencias para llegar antes o después de la apertura de los mostradores de facturación. Se debe señalar que la elección de llegar antes o después es la elección real de cada pasajero, este modelo no tiene en cuenta las intenciones previas de los pasajeros antes de llegar al aeropuerto. Existe la posibilidad de que los pasajeros tengan la intención de llegar más temprano o más tarde, pero el resultado final podría diferir debido a incertidumbres como retrasos inesperados, tráfico o tiempo de espera para transporte público, entre otros.

Los juicios a priori sobre cómo cada factor puede afectar a la llegada de pasajeros antes o después de la apertura de los mostradores de facturación se presentan a continuación, y la variable correspondiente utilizada en el modelo se indica al final de cada supuesto:

- Hora de vuelo: Se espera que los pasajeros que parten en la mañana lleguen después de la apertura de la facturación, ya que existe menos tiempo disponible para organizar todas sus actividades diarias antes de la salida (código de variable: «Mañana»).
- Residencia: Se espera que la probabilidad de llegar después de la apertura de los mostradores de facturación sea mayor para los residentes de la zona de Lisboa (código de variable: «Residencia»). Se supone que cuanto mayor sea la distancia a recorrer para llegar al aeropuerto, mayor será la incertidumbre de la hora de llegada. Por ejemplo, para los pasajeros que empiezan su viaje desde una ciudad cercana al aeropuerto, pero todavía necesitan usar una autopista, se espera que salgan de su destino antes para mitigar el riesgo de llegar tarde al aeropuerto debido a factores inesperados, por ejemplo, accidentes de tráfico y retrasos en la carretera, malas condiciones climáticas, daños mecánicos del modo de transporte (coche, tren, autobús, etc.), etc.
- Modo de llegada: Se espera que los pasajeros que lleguen en coche (código de variable: «Coche_Familiar») de un amigo o familia lleguen después de la apertura de los mostradores de facturación.
- Destino de viaje: Basado en la literatura previa y en los patrones observados, se espera que la utilidad de llegar antes de la apertura de los mostradores de facturación sea mayor para los pasajeros que viajan a destinos de Schengen (código variable: «Schengen»).
- Frecuencia de viaje: Se espera que cuanto más viaje un pasajero, más probable es que llegue después de la apertura de la facturación (código variable: «Alta_frecuencia») debido a su familiaridad con los procesos del aeropuerto.

A menudo se observa que las constantes específicas de la alternativa (ASC), se agregan en la especificación de la función de utilidad de cada alternativa, para capturar el efecto promedio sobre la utilidad de todos los factores que no están incluidos en el modelo. Dado que hay solo dos alternativas - llegan antes (código: «antes») o después de la apertura de la facturación (código: «después») - la especificación de la alternativa «antes» incluye solo el ASC y la utilidad determinística es fijada a cero. El ASC equivalente

se incluye en la utilidad de la alternativa «después» con los parámetros relacionados con todas las variables seleccionadas. Por lo tanto, las especificaciones de las utilidades que explican la llegada de los pasajeros antes y después de la apertura de la facturación son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{después}} &= ASC_{\text{después}} \\
 V_{\text{antes}} &= ASC_{\text{antes}} \\
 &+ \beta_{\text{mañana}} * \text{Mañana} \\
 &+ \beta_{\text{resid}} * \text{Residencia} \\
 &+ \beta_{\text{Cfam}} * \text{Coche_Familiar} \\
 &+ \beta_{\text{Schengen}} * \text{Schengen} \\
 &+ \beta_{\text{frecuente}} * \text{Alta_frecuencia}
 \end{aligned}$$

Con el fin de evaluar el impacto real de las variables en las elecciones de los individuos, se pueden probar diferentes especificaciones. Para cada una de ellas, los parámetros se estiman por máxima verosimilitud, y se aplican pruebas estadísticas para evaluar la calidad de la especificación. En este caso, los signos atribuidos a los parámetros son consistentes con los supuestos a priori. Como no hay otro estudio pertinente, no podemos comparar nuestros hallazgos con estudios previos.

Tabla 5. Resultados del modelo estadístico.

Parámetro	Descripción de la variable asociada	Valor parámetro
ASC_antes		2.021
β_{resid}	1 si el pasajero vive en Lisboa	-0.886 ***
$\beta_{\text{mañana}}$	1 si el vuelo parte antes de las 12 de la mañana	-0.889 ***
$\beta_{\text{frecuente}}$	1 si el pasajero viaja más de 10 veces por año	-0.7 ***
β_{schengen}	1 si el pasajero viaja a un destino de la zona Schengen	1.156 ***
β_{Cfam}	1 si el pasajero llega al aeropuerto con un coche acompañante	-0.646 ***
Número de observaciones		443
Log Likelihood ($L(\beta')$)		528.499
Hosmer and Lemeshow test		10.849 (0.093)

No existen variables dominantes en nuestro modelo. La influencia de las variables estadísticamente significativas es similar, sobremanera para las que tienen signo negativo. Se encuentra que «Schengen» tiene un valor de parámetro más alto. Se probaron más variables para la especificación del modelo, pero no se demostró que contribuyesen a la mejora del modelo para explicar las elecciones de los pasajeros (género, día de la

semana, si el pasajero llega solo, el propósito del viaje, la edad, el equipaje, si el pasajero planificó las actividades que realizará en el aeropuerto, si el pasajero estaba familiarizado con la configuración del aeropuerto, si el pasajero partió por primera vez desde este aeropuerto, si viajó durante el fin de semana, con niños y varias interacciones de estas características). El valor de la prueba de Hosmer y Lemeshow muestra que el modelo es fiable para explicar las elecciones de los pasajeros.

A continuación, analizamos un escenario en el que los pasajeros que viajan frecuentemente aumentarán de una cuota del 32 % al 35 %, 38 %, 42 % y 45 % del total de viajeros. Con el fin de probar este escenario, hemos creado 10 nuevos conjuntos de datos para los cuales hemos cambiado aleatoriamente la alta frecuencia de 0 a 1. Las previsiones del modelo entregaron resultados estables y mostraron que la cuota de pasajeros que llegan antes de la apertura de la facturación al mostrador seguirá siendo el mismo hasta llegar al 45 % de pasajeros cuando disminuye de 47 % a 46 % frente a esa variación.

Además, ponemos a prueba la sensibilidad del modelo respecto a las variaciones en el número de pasajeros que viven en la zona de Lisboa. Al disminuir este porcentaje de pasajeros de 30 % a 27 %, 24 %, 21 % y, finalmente 18 %, se produce un pequeño aumento en el número de pasajeros.

Teniendo en cuenta el efecto conjunto de estos posibles cambios en el futuro, observamos cambios marginales en el tiempo de llegada respecto a la apertura. La variación del porcentaje del número total de pasajeros prácticamente sigue siendo la misma, lo que indica que en el futuro las variaciones en los distintos perfiles de pasajeros del aeropuerto pueden dar lugar a resultados individualmente diferentes. Sin embargo, su efecto conjunto puede conducir a resultados holísticos estancados, como la continuación del patrón de llegada observado hoy en día.

Este cambio en las cuotas implica que el área de la terminal antes de la seguridad será menos utilizada a medida que aumenta la frecuencia de viaje. Como tal, los gerentes del aeropuerto podrían utilizar esta área redundante para actividades alternativas. Este análisis presenta la utilidad potencial de este modelo de comportamiento de los pasajeros, con el fin de estimar los requerimientos de área ante los cambios previsibles de las características de los viajeros.

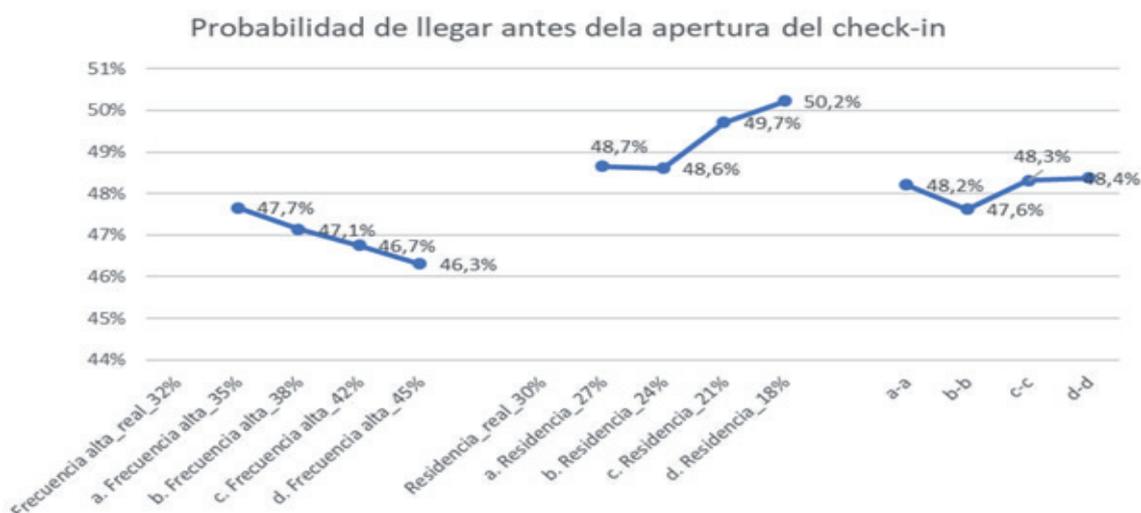


Figura 8. Probabilidad de llegar antes de la apertura de la facturación.

6. Conclusión

Este trabajo se ha desarrollado en base a las llegadas de los pasajeros a la terminal del Aeropuerto de Lisboa. Se realizó una encuesta para recoger datos sobre el comportamiento de los pasajeros y se obtuvieron 529 respuestas. Se modelizaron las llegadas de pasajeros en relación con la apertura de los mostradores de facturación. Se constató que el área de residencia, la frecuencia de los desplazamientos, el viaje a un destino de Schengen, el viaje antes del mediodía y el modo de traslado al aeropuerto son factores que afectan la hora de llegada. La cuota prevista de pasajeros que llegan antes de la apertura de la facturación disminuyó al asumir que el número de pasajeros que viajan con mucha frecuencia aumenta, disminuyó cuando aumentamos la cuota de pasajeros que se encuentran alejados de la zona del aeropuerto y se mantiene estable considerando el efecto mixto de estos dos cambios

En la posterior fase de nuestra investigación, se analizaron las implicaciones futuras adicionales para los requerimientos del área de la terminal, considerando, por ejemplo, las actividades aeroportuarias. Este tipo de resultados pueden también ser utilizados para un análisis de las llegadas de los pasajeros a las áreas de facturación y de control de seguridad, con el fin de predecir los horarios punta durante el día, y planificar las acciones que correspondan para mejorar las operaciones en estos periodos.

Además, el rango de tiempo asignado a actividades no aeronáuticas puede alimentar estudios comerciales para la terminal del aeropuerto y para la propensión de los pasajeros a realizar compras dependiendo del tiempo disponible hasta la salida del vuelo. Finalmente, al enlazar estos modelos con modelos de simulación, se podría estimar cuántas personas necesitarían utilizar cada área de la terminal antes de la seguridad y comprobar las implicaciones en los requerimientos de la terminal en cada tipo de actividad.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen al Aeropuerto de Lisboa Portela los permisos para llevar a cabo este trabajo. Esta investigación fue parcialmente financiada por la Fundación Nacional Portuguesa de Ciencia mediante el proyecto [SFRH/BD/51588/2011].

8. Referencias bibliográficas

- Airport World (2015). *Money matters*. Recuperado de <http://www.airport-world.com/features/economics/5009-money-matters.html>
- Alegre, J., Mateo, S. & Pou, L. (2009). Participation in Tourism Consumption and the Intensity of Participation: An Analysis of Their Socio-demographic and Economic Determinants. *Tourism Economics* 15 (3), 531–546.
- Banco Mundial (2017), *Data Bank*. Recuperado de <http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.AIR.PSGR>

- Barros, C.P. & Machado, L.P. (2010). The length of stay in tourism. *Annals of Tourism Research*, 37 (3), 692–706.
- Ben-Akiva M. & Lerman, S. (1985), *Discrete choice analysis*, Cambridge: The MIT Press.
- Bohl, P. (2014). The impact of airport shopping environments and dwell time on consumer spending. *Budapest Management Review*, 45. 11-24.
- Castillo-Manzano, J.I. (2010). Determinants of commercial revenues at airports: Lessons learned from Spanish regional airports. *Tourism Management*, 31, 788–796.
- Castillo-Manzano, J., López-Valpuesta, L. & González-Laxe, F. (2011). The effects of the LCC boom on the urban tourism fabric: the viewpoint of tourism managers. *Tourism Management*, 32, 1085–1095.
- Doganis, R. (1992), *The airport business*, New York: Routledge.
- Ferrer-Rosell, B., Martínez-García, E. & Coenders, G. (2014) Package and no-frills air carriers as moderators of length of stay. *Tourism Management*, 42, 114–122.
- Graham, A. (2014). *Managing airports: An international perspective (4th ed.)*. New York, NY: Routledge.
- International Air Transport Association (IATA) (2004). *Airport Development Reference Manual (9th Edition)*, Montreal-Geneva: International Air Transport Association.
- International Air Transport Association (IATA) (2013). *Fast travel program*. Recuperado de <https://www.iata.org/whatwedo/passenger/fast-travel/Documents/Fast-Travel-Program-Strategy-V6.pdf>
- Joustra, P. E. & Van Dijk, N. M. (2001). Simulation of check-in at airports. *Proceedings of Winter Simulation Conference*. B. A. Peters, J. S. Smith, D. J. Medeiros, and M. W. Rohrer (eds.).
- Lin, Y. H & Chen, C. (2013), Passengers' shopping motivations and commercial activities at airports – The moderating effects of time pressure and impulse buying tendency. *Tourism Management*, 36, 426 – 434.
- Losada, N, Alén, E., Domínguez, T. & Nicolau, J.L. (2016). Travel frequency of senior tourists. *Tourism Management*, 53, 88–95.
- Ma, W. & Yarlagadda, P. K. (2012). A micro-simulation of airport passengers with advanced traits. *28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*, Brisbane: Optimage Ltd.
- Park, Y. & Ahn, S. B. (2003). Optimal assignment for check-in counters based on passenger arrival behavior at an airport. *Transportation Planning and Technology*. 26, Issue 5.
- Popovic, V., Kraal, B. & Kirk, P. J. (2010) Towards airport passenger experience models. *Proceedings of 7th International Conference on Design & Emotion*, 4-7 October, Spertus Institute, Chicago, Illinois.

- Salmasi, L., Celidoni, M. & Procidano, I. (2012). Length of stay: price and income semi-elasticities at different destinations in Italy. *International Journal of Tourism Research*, 14, 515–530.
- Torres, E, Domínguez, J.S, Valdés, L. & Aza, R. (2005). Passenger waiting time in an airport and expenditure carried out in the commercial area. *Journal of Air Transport Management* 11, 363–367.
- Tosic, V. (1992). A review of airport passenger terminal operations analysis and modelling. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 26, 3-26.
- Van Boekhold, J., Faghri, A. & Li, M. (2014). Evaluating security screening checkpoints for domestic flights using a general microscopic simulation model. *Journal of Transportation Security*, 7, 45-67.
- Volkova, N. (2009). *Determinants of Retail Revenue for Today's Airports. German airport performance (GAP) project*. Berlin School of Economics.
- World Tourism Organisation (WTO) (2014). *Understanding tourism: Basic glossary*. Recuperado de <http://media.unwto.org/content/understanding-tourism-basic-glossary>



Facultad
de Ciencias
Económicas y
Empresariales

Departamento
de Economía
Aplicada y
Estadística



**Revista de Evaluación de
Programas y Políticas Públicas**
JOURNAL OF PUBLIC PROGRAMS AND POLICY EVALUATION

Measuring Conduct in the Spanish Air Transport Industry

Estimando la conducta de la industria del transporte aéreo en España

Núm. 9 (2017), pp. 26-46

Gundelfinger Casar, Javier *
Coto-Millán, Pablo**

Recibido: **noviembre, 2016**

Aceptado: **diciembre, 2017**

JEL Clasif: C3, D4, L1, L9, M2, N7, R4

DOI: [10.5944/reppp.9.2017.17600](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.17600)

* JAVIER GUNDELFINGER CASAR: Técnico en Transporte Aéreo en el Gobierno de Cantabria (2006-Actualidad). Doctor en Economía por la Universidad de Cantabria. Líneas de Investigación: Economía Industrial y Economía del Transporte. E-mail: javier.gundelfinger@alumnos.unican.es

** PABLO COTO-MILLÁN: Catedrático de Universidad de Fundamentos del Análisis Económico de la UC. Decano de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Cantabria. Director del Máster y Experto Universitario en Comercio, Transportes y Comunicaciones Internacionales de la Universidad de Cantabria.. E-mail: cotop@unican.es

Abstract

The purpose of this study is to analyze the domestic air transport industry in Spain. This work has focused on the segment of business and we present a theoretical model of oligopolistic competition which could be empirically tested through three equations: demand, market structure and price. We contribute to develop creativity and innovation with the elaboration of a data studying 113 over 96 fortnight periods (2011-2015) where analyses how clients react to both strategic changes carried out by airlines (frequencies, capacity, prices) and changes in socio-economic factors. The analysis is performed by applying the econometric technique of instrumental variables. We find that that frequency competition -Cournot- is more important than competition in prices -Bertrand-.

Key Words: Airlines; oligopolistic competition; market structure; vertical differentiation

Resumen

El objetivo de este estudio es analizar la industria del transporte aéreo en España. Este trabajo se ha centrado en el segmento de negocio y presentamos un modelo teórico de competencia oligopolística que puede ser empíricamente probado a través de tres ecuaciones: de demanda, de cuota de mercado y de precio. Contribuimos a desarrollar la creatividad y la innovación con la elaboración de una muestra que estudia 113 rutas durante 96 quincenas (2011-2015), donde se analiza cómo reaccionan los clientes tanto a los cambios estratégicos realizados por las líneas aéreas (frecuencias, capacidad, precios) como a cambios socio-económicos. El análisis se realiza aplicando la técnica econométrica de las variables instrumentales y los resultados muestran que la competencia en este mercado se produce a la Cournot.

Palabras clave: Aerolíneas; competencia oligopolística; estructura de mercado; diferenciación vertical

1. Introduction

The liberalisation of air transport which took place in the European Union in the early nineties following the trend coming from the United States had positive effects for Spanish passengers allowing them to choose between more companies, more frequencies and much lower prices.

In addition to the aforementioned customer benefit, it is necessary to know the airline's behavior following the liberalization process. After this process, further opening of markets will provoke a downward pressure on prices offered by the airlines to their consumers. This theoretical foundation -increased competition following liberalization and reduction of fares- is empirically assessed by Brander and Zhang (1993), who analysed it using a pooled cross-section and time-series data on 16 routes based at the hub airport of Chicago and operated by American Airlines and United Airlines in duopoly routes. The authors study, through regression analysis, if there is a competition following Cournot model or Bertrand model or if a formation of cartels occurs, concluding that there is a variable behavior (following the Green-Porter model) with an approach in periods of low prices -Cournot competition- and collusive agreements in higher rates stages.

The purpose of this paper is to collect the different reactions of agents involved in this industry and to determine whether a Cournot or a Bertrand competition is taking place through the study of 113 routes covering 97 % of the active connections in Spain.

The original contribution of this paper to the existing literature lies on an increase of both the sample size -the number of routes analysed so far in the work of Marin (1995) is tripled and the sample used by Betancor and Gonzalez (2013) for our country is likewise increased- and also the time horizon, which goes from one week -Marin (1995) and Betancor and González (2013)- to 96 fortnights, introducing different variables, such as price per mile charged by airlines, travel time, aircraft capacity and frequencies offered for each flight, distance between each origin-destination pair, amount of landing taxes at each destination airport and evolution of oil prices and consumer price index, as well as several dummy variables, for each of the 113 routes.

A data panel was developed by observing the prices offered via their websites by the different airlines providing regular-commercial traffic services in the domestic market of our country, along with various other socio-economic variables, during the 96 fortnights of the study. The methodology followed a theoretical model of oligopolistic competition with vertical differentiation of products, which could be empirically tested through three equations: a demand equation, a market structure equation and a price equation. The vertical differentiation will be the result of the frequency of the service as a competition variable.

The structure of this paper is as follows: after the introduction, the second section reviews the literature on this field while the third section provides a theoretical basis for the hypotheses that are to be tested in the empirical analysis, specifying the equations to be estimated in the fourth chapter. The data and sample sources are detailed in section 5, with section 6 focusing on the results obtained. Section 7 presents the conclusions that can be drawn from the study.

2. Review of the literature

Betancor and González (2013) focused on the analysis of prices for airlines operating in Spain, concluding that an inverse relationship between the degree of competition and fares could be detected. This relationship is very clear in the case of routes where low cost airlines operate. Nuñez-Sánchez (2013) evaluates the pricing system for the Spanish port authorities during the period 1986-2005. Author estimates a system of equations. The estimation of demand functions for the use of port infrastructure enables us to calculate fee elasticities of demand. The sample consists of the 26 port authorities. After an estimation of demand function, author demonstrates that demands for port infrastructure are inelastic. Betancor and Vicens (2012) also studied domestic air routes claiming that a significant number of airlines compete in this market and, although there is a prominent group of low demand routes where services are provided under monopoly, in general, three or more air operators compete in almost a third of all routes. Similarly, Betancor and Vicens (2011) analysed the importance of airports from several points of view, as well as their main features in terms of traffic. Sainz-González *et al.* (2011) determine the impact on fares in the Spanish leisure market airlines. Authors use an empirical specification of a pricing and demand equation system. Authors use a data related to ticket price for quarterly periods 2006 and 2007. Data are based on round trip flights carried out in 29 domestic airports where the flights were made for leisure purposes. They found a duality of the Spanish airline tourist market, given that the behavior of airlines is more competitive for the case of peninsular routes. A plausible explanation would be the existence of more alternative modes of transport for these routes (e.g. car, high speed rail) which makes the travel demand more sensitive to prices. Fu and Zhang (2010) studied the relationship between the demand for air transport and economic growth, highly valuing the empirical relationship of air transport's multiplier effects on the economy. Moreover, Dobruszkes (2009) studied the degree of competition in air transport in Europe and concluded that competition in the air transport industry provides greater benefits to big cities and peripheral regions which receive major tourist inflows from large, northern cities in Western Europe. Njegovan (2006) evaluated the price elasticity in leisure travel in the UK, concluding that demand for air transport is moderately inelastic regarding ticket prices. Grosche *et al.* (2007) presented two gravity models to estimate the volume of air passengers between city pairs. Martinez (2003) also noted the impact of multimarket contact between airlines on the price level, finding evidence of the existence of collusive behaviour and detecting exhaustion effects after the liberalisation of the sector. Rey (2003) addressed the behaviour of airlines during the liberalisation process (1989-1997), attempting to determine the effects that this process had on the relative efficiency of airlines. The author did not find significant differences in efficiency among airlines over the time horizon studied. With regard to the pricing strategy, the study concludes that costs are a key factor determined by the average distances travelled and the occupation. Companies tend to cut costs by attempting to extend the distances travelled and increasing the size and occupation rates of their aircraft. The latter would be the clearest effects of the introduction of competition in the aviation market. Benitez (2000) identified the factors affecting demand for air services. In particular, the author refers to economic (income, prices), structural (population, distance, alternative modes of transportation, systems of established routes) and quality factors, but the analysis is theoretical and not empirical.

3. The theoretical model

Our identification procedure takes as a reference the Marin (1995) study of the European air market, and the Fageda (2004) study of the domestic air market in Spain.

One of the central themes in the literature on air transport refers to the effects of price competition. As is well known, companies can compete on price, quantities and qualities.

The most common approach to analyse the effects of price competition is to use a price equation in which these depend on variables that approximate the cost and quality of service function, variables related to the characteristics of demand and factors approaching the market power of the dominant airlines.

We can distinguish two types of studies to address the effects of price competition.

There is a first type of studies within the so-called multiple equation approach (Graham, 1985, Dresner and Tretheway 1992) which, applied to the US market, uses observations in the concentration level of the route, and concludes that there is a positive correlation between the price level and the degree of concentration in the route. The second type of work is the so-called single equation approach (Borenstein, 1989, Evans and Kessides, 1993a). It also refers to observations of the US domestic airport market and concludes that it is their power, rather than the route, that explains the ability of the major airlines to charge higher prices than their competitors.

In the multiple equation approach, it is worth mentioning the work of Marin (1995), conducting studies for the air transport market in Spain. These authors went one step further than previous studies and incorporated a market share equation, taking the frequencies offered on each route and comparing them to the market average service on the route as one of the variables.

Specifically, these studies explicitly analyse the implications of competition on the market structure, rather than focusing solely on a price equation.

In addition, their empirical specification uses company-level variables on the route, in the equations for prices and market share, enabling them to capture possible intra-route heterogeneity. Moreover, vertical product differentiation is an important assumption of their theoretical and empirical formulation. This assumption can be considered realistic in the airline industry, where differences in quality between airlines arising from increased service frequency of dominant companies play an important role in competition. This is the reason why the empirical specification used in our study is based on this approach.

The empirical specification used in this study is based on a model of oligopolistic competition with vertical product differentiation, in other words, a service quality-based model, analysing the frequencies offered for each route. In this model, in the last phase of the decision process, each company ($i = 1 \dots N$) produces a set of products with a perceived company quality, q_i , compared to the average quality of all companies operating on the route, k , q_k and companies set prices according to the market competition regime. Each consumer chooses the product of the company that allows him/her to maximise the quality/price ratio, q_i/p_i so the equilibrium condition for prices can be expressed as follows:

$$q_i/p_i = q_j/p_j \quad \text{for any company } i, j \quad (1)$$

Given the condition of equation (1), the individual demand function can be expressed as follows:

$$x_{ik} = x_{ik} (q_{ik}, p_{ik}q_{1k}/q_{ik}, \dots, p_{ik}q_{Nk}) \quad (2)$$

So the amount sold by company i , x_{ik} , when N_k companies operate on the route, depends on the perceived quality of the company on the route k , q_{ik} , the prices of the company itself for the route k , p_{ik} , the average quality of all companies operating on the route, (q_k) and other variables exogenous to the company (exogenous variables), called ev_{ik} .

On the other hand, the market share of each company, SM_{ik} , depends on the relative price and quality of each company with respect to the average value of the route, k , and other exogenous variables.

$$SM_{ik} = SM_{ik} (p_{ik}/p_k, q_{ik}/q_k, ev_{ik}) \quad (3)$$

Expression (6) will provide the equation to estimate market share.

Assuming that companies compete following a Cournot model, the process of maximising profits provides the mark-up pricing equation on marginal costs:

$$p_{ik} = \Psi_{ik} (q_{ik}q_k, N_k) \frac{\partial C_{ik}}{\partial x_{ik}} \quad (4)$$

Where the mark-up, Ψ_{ik} is a function of the relative perceived quality of each company with respect to the average market value q_{ik}/q_k , the number of companies operating in the market N_k and marginal costs $\frac{\partial C_{ik}}{\partial x_{ik}}$.

These costs will depend on determinant factors such as distance, capacity of the aircraft, frequency of service and/or occupation factor.

4. The empirical model

All variables in empirical specifications shall be headed by the letter L , meaning that the logarithms of the variables in question are used. In this sense, a total sample has been collected without considering the purpose of the trip and the equations for demand, prices and market share have been estimated. Regarding the variation by route, incorporating variables that refer to the characteristics of the route, such as distance, dummy for intermodal competition and dummy for operators, competition can help to manage these differences.

4.1 Equation of demand by route and company

According to equation (2) our empirical specification for the demand equation takes the following log form:

$$Lx_{ik} = \delta_1 + \alpha_{11} Liev_k + \alpha_{21} Lq_{ik} + \alpha_{31} Lp_{ik} + \alpha_{41} DN_k + \varepsilon_k \quad (5)$$

Where the dependent variable is the number of passengers on each route, Lx_{ik} .

The explanatory variables in this equation are as follows:

$Liev_k$: Collects a proxy for the income exogenous variable approximated by the industrial production provincial index (IPI), as a proxy for economic activity. The IPI measures the monthly evolution of productive activity of industrial branches, that is, extraction, manufacturing and production industries as well as distribution of electricity, water and gas. A positive coefficient for this variable is expected.

Lq_{ik} : Number of daily frequencies offered by each of the airlines i with respect to the market average in each route k . A positive coefficient for this variable is expected as an indication of the “quality” perceived by the consumer for such services.

Lp_{ik} : The price per mile offered by each airline i for each route k . A negative sign is expected in the coefficient of this variable, assuming a normal demand curve.

DN_k : This is a dummy variable representing the number of operators in each route k that takes value 1 on routes with competition from other airlines and 0 otherwise. A positive sign is expected as increased competition implicitly means greater demand in the market. The extreme case would be a natural monopoly in which demand allows only one airline.

4.2 Market share and company route equation

According to equation (3), our empirical specification for the market share equation by company takes the following logarithmic form:

$$LSM_{ik} = \delta_2 + \beta_{12} Lp_{ik} + \beta_{22} Lq_{ik} + \beta_{32} DN_k + \varepsilon_k \quad (6)$$

Where the dependent variable is the market share of each airline i on route k in terms of number of passengers carried by each company out of the total, LSM_{ik} .

The explanatory variables in this equation are:

Lp_{ik} : The price per mile offered by each airline i for each route k . A negative sign is expected in the coefficient of this variable, assuming a normal demand curve.

Lq_{ik} : Number of daily frequencies offered by each of the airlines i with respect to the market average in each route k . A negative sign is expected in the coefficient of this variable as increase of capacity.

DN_k : This is a dummy variable representing the number of operators in each route k that takes the value 1 on routes with competition from other airlines and 0 otherwise. A negative sign is expected as increased competition implicitly means a lower market share.

4.3. Pricing equation by company and route

The specification of the price equation, based on (4), is as follows:

$$Lp_{ik} = \delta_3 + \theta_{13} Ld_k + \theta_{23} Lc_{ik} + \theta_{33} DN_k + \theta_{43} Lq_{ik} + \varepsilon_k \quad (7)$$

Where the dependent variable is the price per mile charged by each company i in each route k , Lp_{ik} .

The explanatory variables included in the equation to approximate the marginal costs are as follows:

Ld_k : The distance between origin and destination of the route k . A negative sign is expected in the coefficient of the distance variable, since the costs per mile decrease with distance so a transfer of such reductions to prices can be expected.

Lc_{ik} : The average capacity of the aircraft used by each company i in each route k . The coefficient of this variable is undefined, since the larger the aircraft, the lower the costs and the higher the quality perceived by the consumer.

DN_k : This is a dummy variable representing the number of operators (operators exogenous variable) on each route k ; it is set to 1 on routes with competition from other airlines and 0 otherwise. A negative sign is expected as increased competition implicitly means less market power (and therefore lower market share) to raise the price.

Lq_{ik} : Number of daily flights offered by each of the airlines i with respect to the market average in each route k . A negative sign is expected in the coefficient of this variable due to scale economies.

5. Data sources and sample

In the Annex, Table offer the descriptive statistics of the main variables used in this research.

The sample used in the empirical analysis includes 96 observations on a fortnightly basis from March 2011 to February 2015 for the Spanish domestic market of regular flights, including 113 routes collected in Table 2 of the Annex.

The information on the total passengers carried by each airline i in each route k , x_{ik} , and on the national total passengers with origin in each airport xn_k has been obtained from the statistics published both by AENA and the Ministry of Public Works. Information regarding prices per mile p_{ik} for each company on each route, flight time on the route k , t_k , capacity of the aircraft used by each operator i on each route k , c_{ik} and frequency of the flights of company i compared to the average of the market q_{ik} in route k , has been obtained through the websites of each airline and AENA. The methodology to track prices has been to make a reservation on the first and second Wednesday of each month to fly on the third and fourth Wednesday of that month (booking 15 days in advance in each fortnight) through the website of each airline operating in each route, and selecting a return ticket on the day, providing the destination was reached before 10 am and departure from the destination airport was always after 16 h.

The variable distance of route k , d_k refers to the distance in miles between the origin and destination of each route, measured through an orthodromic route, that is, the shortest distance between two points on the surface of the Earth.

Data on the market share SM_{ik} of each company on each route and the first operator $SM1_{ik}$ at the airport of origin of each route have been obtained from the financial reports of the airlines analysed.

The income exogenous variable (iev_k) is approximated by the provincial value of the Industrial Production Index IPI offered by the Spanish National Statistics Institute (INE).

The Consumption Price Provincial Index ipc_k corresponds to that offered by the INE. The Hotel Price Provincial Index iph_k and the sum of the provincial population in each origin-destination route pob_k were obtained from the INE.

The amount of landing taxes at each destination airport, tax_k , has been obtained through AENA, while the price of oil, brent $fuel_k$, has been compiled through the economic website www.cincodias.com.

Moreover, we have included the following seven dummy variables: 1) Existence or absence of alternative direct transport, -alternative Transport- (Dat_k). This variable is set to 1 when direct routing exists and 0 otherwise. 2) Hours of alternative transportation, -alternative transport hours- ($Dath_k$), which takes the value 1 if the alternative mode of transportation (bus, train, fast ferry in the case of the Balearic Islands) takes less than 210 minutes, since in such case it is considered that there is a competitive means of alternative transportation, and takes the value 0 otherwise. To calculate this time we studied the information on transport times on the websites of each of the operators of each alternative mode of transportation. 3) Number of operators -operators exogenous variable- (DN_k), which takes the value 1 on routes with more than one operator and 0 otherwise. 4) Existence of a hub airport, -hub airport- (Dha_k), which takes the value 1 for airports with international flights operations and 0 otherwise. 5) Existence of routes operated by high-speed rail lines, AVE -high-speed train ($Dhst_k$), which takes the value 1 in routes where such transport exists and is set to 0 otherwise. 6) Presence of Ryanair at the origin airport, -Ryanair existence- ($Drye_k$), which takes the value 1 if yes and 0 otherwise. 7) Finally, the possibility that the origin airport maintains agreements to promote tourism -Tourist promotion agreement- ($Dtpa_k$), taking as reference the report of the National Competition Commission of Spain, which takes the value 1 when these arrangements exist and 0 otherwise.

We have included the existence of a hub airport dummy and the Ryanair presence in every route dummy according to Tretheway and Kincaid (2005) who review the literature about the economic effect of a market structure (Borenstein, 1990) on air fares following deregulation of the U.S. airline market. The authors concluding that regardless of market structure, the presence of a Low Cost Carriers (LCC) has a dramatic and permanent impact of fares in the market (Lee and Luengo-Prada, 2005).

6. Estimation and Results

In order to avoid endogeneity problems, the technique of estimation by instrumental variables (IV), Angrist and Krueger (2001) has been applied. This method allows a consistent estimate when variables are suspected to be endogenous and is based on the choice of a variable (instrument) that does not belong to the model initially estimated, is correlated with the explanatory variable (endogenous) and is not correlated with the error term of the estimated equation.

In addition, for the choice of instrumental variables to be a valid instrument to address the problem of endogeneity, these must be credible from an economic point of view and the equation to estimate must be properly identified (Murray, 2006). According to Angrist and Krueger (2001), estimation by instrumental variables not only corrects the endogeneity problem, but its application may avoid a problem of measurement error in the endogenous variable, which would lead to an attenuation bias in the estimates by Ordinary Least Squares, (OLS).

There is an important aspect among the measures implemented to solve the problem of endogeneity, which is to ensure that the chosen variable for correction is not a weak instrument. To avoid this, the F-statistic of Wald Cragg-Donald is reviewed. If the critical value is greater than 10, the instrument is not considered weak (Stock and Yogo, 2005). This fact certifies that the variable considered as instrument predicts the endogenous variable correctly.

In the event that the instrument is weak, the slight presence of correlation between the instrument and the error term in the original equation can cause major inconsistencies in the coefficients computed. This problem arises at the time when the instrument is very weakly correlated with the regressor (endogenous) or its size is very large (Angrist and Krueger, 2001). Within the referred technique of estimation by instrumental variables, the least squares method is implemented in two stages (2SLS), Theil (1961) and Basmann (1957); as well as the Generalized Method of Moments (GMM), Hansen (1982).

After identifying the problem of endogeneity and having used MC2E, it is possible to use an alternative estimation method that allows for a greater degree of confidence, which is the Generalized Method of Moments (GMM). This method is an estimator of instrumental variables, which ensures that the estimated parameters are consistent under the existence of conditions that validate the efficiency with which the available information is used. Furthermore, this method does not require the assumption of normality and allows estimates to a greater level of confidence, because it uses the orthogonality conditions or moments for a more efficient estimate.

That is, this method provides consistent estimators for the multiple regression model and confirms the independence of the exogenous variables under study.

Table 3 shows the results of each of the two estimates (least squares in two steps by instrumental variables and Generalized method of moments) for the demand equation. Table 4 presents the results for each of the two estimates (two-stage least squares with instrumental variables and Generalized method of moments) for the market share equation. Table 5 presents the results for each of the two estimates (least squares in two stages using instrumental variables and Generalized method of moments) for the price equation.

The regressions were calculated using the econometric software *Gretl 1.47*.

Going to the data analysed, in Table 3 we can see how the explanatory variables have the expected sign and are significant at 1 %. Thus, it is possible to show that income, frequency, number of operators and prices are important determinants in the demand for business air transport in Spain. The elasticity of demand with respect to the approximated income by the industrial production index is 3.66 and the elasticity of demand with respect to the frequency is 2.13, while the elasticity of demand on the number of operators is 0.65. Finally, the price elasticity of demand is set to -0.60. Therefore, it is clear that the elasticity of demand with respect to frequency is much higher than the demand price elasticity (2.13 vs. -0.60), so this industry is more sensitive to competition in frequencies than in prices.

Analysing the market share equation in Table 4 we can see how the explanatory variables have the expected sign. Thus, it is shown that the prices, frequencies and number of operators are important determinants in the market share of business air transport in Spain. The coefficient of the variable elasticity of the market share to price is positive and significant with a value of 0.20. That is, an increase in prices would imply an increase in market share. This sign is opposite to the expected value and can be explained due to the higher number of routes under the monopoly operation. The rate variable is significant and negative (-0.23). Therefore, an increase in the frequencies offered produces a reduction in market share. That is, the greater the frequency on a route, the more competition and less market share. The elasticity of the market share to the number of operators is significant and has a negative sign (-0.56). This means that if more than one operator competes on a route, the market share drops to 56 % of market share.

Table 5 shows the results for the price equation. All variables have the expected sign. The coefficient of the distance variable has the expected sign (-0.09). Greater distances entail lower prices, although this interpretation should be taken with caution, because the variable is only significant at 10 %. The coefficient of the variable “average aircraft size”, measured by available seat capacity per aircraft on each route, is significant at 1 % and has a negative value (-0.63). That is, the more efficient the aircraft, the lower the prices. The price elasticity to the number of operators is significant and has a negative value (-1.13). This means that if more than one operator competes in a route, the price per mile drops by 113 %. This result is similar to that reported by Betancor *et al.* (2013).

Finally, the ratio of the daily frequency variable with respect to the market average is significant at 1 % and takes the value (-0.38); that allow us to ensure that there is an oligopoly market structure. That is, the policy of pricing in the pricing in the airline industry in Spain is carried out by a few companies.

On the other hand the results of table 6 show rates of Entropy, Herfindahl and Lerner exist for concluding oligopolistic market structure. In the airline industry in Spain are a few companies that perform pricing policy.

7. Conclusions

In the study by Marin (1995) analysing the inter-European market, the results lead to the conclusion that price competition -Bertrand- is more important than competition in frequency (quality) -Cournot- for the leisure air segment because in the demand equation estimated, price elasticity is -1.71, not significant for the frequency variable. In the work of Coto-Millán (2003), estimates for the pre-liberalisation period in Spain are presented without distinguishing between the leisure and business segments, with a demand price elasticity of -1.26 and an income elasticity of 1.32. This has been the situation in eighties and nineties in Spain and in the inter-European market. In this research the demand price elasticity is -0.60 and the estimated demand and frequency elasticity is 2.13. Demand and price elasticities are not very different. However, the demand frequency elasticity in the last study was twice as high as in the previous one.

In this research for the recent period 2011-2015, the results shown in the demand equation confirm this because the elasticity of demand regarding frequencies (2.13) has proved to be much higher than the price elasticity of demand (-0.60) showing that this industry competes more in frequencies (quality) than in prices. The above results show the progression from only price competition in the nineties, before liberalisation, to a balanced price and frequency competition, to an increased competition in frequencies compared to price in recent years.

It seems logical that, in a commuter passenger market catering to round-trip passengers with a highly valued concept of time, airlines compete via frequencies (quality) to attract passengers. That is, in this market, companies are competing to offer higher quality products (via a higher frequency of service) than their rivals on most routes in which more than one operator offers their services.

In this paper, the estimation of the price equation obtains similar results as Betancor and González (2013) in the sense that an inverse relationship is detected between the degree of competition (measured by DN_k) and ticket price (price per ticket/mile). Moreover the results show rates of Entropy, Herfindahl and Lerner exist for concluding oligopolistic market structure. In the airline industry in Spain are a few companies that perform pricing policy.

In conclusion, we can say that the maintenance or improvement of effective competition in this segment of the aviation industry in Spain recommends greater competition in the prices offered by airlines, since competition in terms of frequencies (quality) is more intense (about three times).

8. References

- Angrist, J. D., & Krueger, A.B. (2001). Instrumental Variables and the Search for Identification: From Supply and Demand to Natural Experiments. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 69-85.
- Basman, R. L. (1957). A Generalized Classical Method of Linear Estimation of Coefficients in a Structural Equation, *Econometrica*, 25, 77-83.
- Benítez Rochel, J.J. (2000). Factores determinantes de la demanda de transporte aéreo y modelos de previsión. *Boletín económico de ICE*, Información Comercial Española, ISSN 0214-8307, 2652, 41-48.
- Betancor, O., Gallego, A. & Gonzalez, M.J. (2013). *Las tarifas en el mercado español de transporte aéreo*. Observatorio de Transporte Aéreo Fedea.
- Betancor, O. & Vicens, M. F. (2012). *La competencia en el mercado español de transporte aéreo*. Observatorio de Transporte Aéreo Fedea.
- Betancor, O. & Vicens, M. F. (2011). *Una taxonomía de los aeropuertos españoles*. Observatorio de Transporte Aéreo Fedea.
- Borenstein, S. (1989). Hubs and high fares: Dominance and market power in the U.S. airline industry. *Journal of Economics*, 20, 344-65.
- Borenstein, S. (1990). Airline mergers, airport dominance, and market power. *The American Economic Review*, 80(2), 400-404.
- Brander, J. & Zhang, A. (1993). Dynamic oligopoly behaviour in the airline industry. *International Journal of Industrial Organization*, 11, 407-435.
- Coto-Millán, P. (2003). *Utility and Production. Theory and Application*. Second edition. Physica-Verlag a Springer-Verlag Company.
- Dobruszkes, F. (2009). Does liberalisation of air transport imply increasing competition? Lessons from the European case. *Transport Policy*, 16(1), 29-39.
- Dresner, M. & Tretheway, M.W. (1992). Modelling and testing the effect of market structure on price; the case of International Air transport. *Journal of Transport and Economic Policy*, 26(2), 171-183.
- EUROCONTROL. (2015). Annual Report 2015.
- Evans, W.N. & Kessides, I. (1993a). Localized market power in the U.S. airline industry. *The Review of Economics and Statistics*, 75(1), 66-75.
- Fu, X., Hong, O. T. & Zhang, A. (2010). Air transport liberalization and its impacts on airline competition and air passenger traffic. *Transportation Journal*, 49(4), 24.
- Graham, D.R., Kaplan, D.P, & Sibley, D.S. (1983). Efficiency and competition in the airline industry. *Bell Journal of Economics*, 14, 118-138.

- Grosche, T., Rothlauf, F. & Heinzl, A. (2007). Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*, 13, 175-183.
- Hansen, L. P. (1982). Large Sample Properties of Generalized Method of Moments Estimators, *Econometrica*, 50, 1029-1054.
- Lee, D. & Luengo-Prado, M.J. (2005). The Impact of Passenger Mix on Reported “Hub Premiums” in the U.S. Airline Industry. *Southern Economic Journal*, Southern Economic Association, 72(2), 372-394.
- Marin, P. (1995). Competition in European Aviation: Pricing Policy and Market Structure. *Journal of Industrial Economics*, 43, 141-160.
- Martínez, C. (2003). *Análisis del sector aéreo europeo: Modelización de la demanda y análisis del contacto multimercado entre compañías*. From CEMFI No. 0306.
- Murray, M. P. (2006). Avoiding Invalid Instruments and Coping with Weak Instruments. *Journal of Economic Perspectives*, 20(4), 111-132.
- Njegovan, N. (2006). Elasticities of demand for leisure air travel: A system modelling approach. *Journal of Air Transport Management*, 12(1), 33-39.
- Núñez-Sánchez, R. (2013). Marginal Costs, Price Elasticities of Demand, and Second-best Pricing in a Multiproduct Industry: An Application for Spanish Port Infrastructure. *Journal of Transport Economics and Policy*, 47(3), 349-369.
- Rey, B. (2003). Estructura de mercado y eficiencia empresarial en el transporte aéreo. ICE número 808, 189-200.
- Sainz-González, R., Núñez-Sánchez, R. & Coto-Millán, P. (2011). The impact of airport fees on fares for the leisure air travel market: The case of Spain. *Journal of Air Transport Management*, 7(3), 158-162.
- Sargan, J.D. (1958). The Estimation of Economic Relationships Using Instrumental Variables. *Econometrica*, 26, 393-415
- Stock, J. & Yogo, M. (2005). *Testing for Weak Instruments in Linear IV Regression*. Ch. 5 in J.H. Stock and D.W.K. Andrews (eds), *Identification and Inference for Econometric Models: Essays in Honour of Thomas J. Rothenberg*, Cambridge University Press.
- Theil, H. (1961). *Economic Forecasts and Policy*. 2nd ed. Amsterdam: North-Holland.
- Tretheway, M. & Kincaid, I. (2005). The effect of market structure on airline prices: A review of empirical results. *Journal of Air Law and Commerce*, 70, 467-497.

9. Annex tables

Table I. Descriptive statistics. **Source:** Own elaboration.

Variable	Mean	Median	Mínimum	Máximo	Std. Dev.	C.V.
Lx_{ik}	104.514	104.689	460.517	125.927	109.659	0.104923
Lx_{nk}	126.949	129.564	606.146	143.186	135.926	0.107071
Lp_{ik}	-0.512544	-0.450069	-305.130	164.581	0.818686	159.730
Lt_k	423.454	417.439	355.535	539.363	0.340447	0.0803978
Lc_{ik}	489.353	519.296	391.202	524.175	0.444849	0.0909055
Lq_{ik}	-0.14362	-0.25722	-14.130	17.352	0.50636	35.258
Ld_k	550.360	552.545	426.268	686.380	0.568717	0.103335
LSM_{ik}	-0.518146	-0.510826	-299.573	0.00000	0.546323	105.438
$Liev_k$	450.377	450.910	405.340	477.200	0.114443	0.0254104
$Lipc_k$	463.207	463.603	459.139	466.240	0.0167499	0.00361608
$Liph_k$	447.988	448.864	428.027	472.827	0.0922993	0.0206031
$Lpob_k$	147.248	147.568	113.062	156.752	0.905913	0.0615230
$Ltax_k$	178.173	186.563	0.463734	213.535	0.347993	0.195313
$Lfuel_k$	465.242	470.298	386.451	484.403	0.184368	0.0396284
Dat_k	0.835269	100.000	0.00000	100.000	0.370955	0.444114
$Dath_k$	0.0945796	0.00000	0.00000	100.000	0.292647	309.419
DN_k	0.589602	100.000	0.00000	100.000	0.491929	0.834341
Dha_k	0.460177	0.00000	0.00000	100.000	0.498435	108.314
$Dhst_k$	0.609145	100.000	0.00000	100.000	0.487965	0.801065
$Drye_k$	0.833886	100.000	0.00000	100.000	0.372200	0.446343
$Dtpa_k$	0.442478	0.00000	0.00000	100.000	0.496703	112.255
Variable	Skewness	Ex. kurtosis	Level (5.0 %)	Level (95.0 %)	IQ Score	Missing data
Lx_{ik}	-0.617335	107.025	854.111	121.707	145.041	0
Lxn_k	-127.129	225.353	101.999	141.859	192.366	0
Lp_{ik}	-0.127936	-0.753970	-188.333	0.822681	126.826	0
Lt_k	0.495672	0.520006	368.888	504.343	0.435318	0
Lc_{ik}	-111.962	-0.210700	391.202	524.175	0.737110	0
Lq_{ik}	0.58785	0.80284	-0.66269	0.59007	0.91629	0
Ld_k	0.375566	0.488665	454.329	685.961	0.519875	0
LSM_{ik}	-131.649	293.380	-142.712	0.00000	0.843970	0
$Liev_k$	-0.754561	157.344	430.767	467.243	0.141901	0
$Lipc_k$	-0.409670	-0.970217	460.419	465.541	0.0277418	0
$Liph_k$	0.00776093	-0.465135	432.466	462.272	0.132163	0
$Lpob_k$	-0.532014	-0.0796251	134.426	156.752	176.394	0
$Ltax_k$	-164.212	299.236	0.963174	213.535	0.355729	0
$Lfuel_k$	-258.741	650.341	412.050	481.883	0.0983487	0
Dat_k	-180.769	126.773	0.00000	100.000	0.00000	0
$Dath_k$	277.084	567.756	0.00000	100.000	0.00000	0
DN_k	-0.364304	-186.728	0.00000	100.000	100.000	0
Dha_k	0.159800	-197.446	0.00000	100.000	100.000	0
$Dhst_k$	-0.447367	-179.986	0.00000	100.000	100.000	0
$Drye_k$	-179.421	121.918	0.00000	100.000	0.00000	0
$Dtpa_k$	0.231626	-194.635	0.00000	100.000	100.000	0

Table 2. Routes of the Spanish market included in the sample (2011-2015).

Origin	Destination	Airline	Origin	Destination	Airline
A Coruña	Barcelona	VLG	Bilbao	Barcelona	VLG
A Coruña	Madrid	IBE	Bilbao	Madrid	IBE
Alicante	Barcelona	VLG	Bilbao	Madrid	UX
Alicante	Madrid	IBE	Bilbao	Santiago	ANE
Almería	Madrid	ANE	Bilbao	Valencia	ANE
Asturias	Barcelona	VLG	Gran Canaria	Madrid	IBE
Asturias	Madrid	IBE	Gran Canaria	Madrid	UX
Barcelona	A Coruña	VLG	Granada	Madrid	IBE
Barcelona	Alicante	VLG	Ibiza	Barcelona	FR
Barcelona	Asturias	VLG	Ibiza	Barcelona	VLG
Barcelona	Bilbao	VLG	Ibiza	Madrid	ANE
Barcelona	Granada	VLG	Ibiza	Madrid	FR
Barcelona	Ibiza	FR	Ibiza	Mallorca	ANE
Barcelona	Ibiza	VLG	Ibiza	Valencia	ANE
Barcelona	Madrid	IBE	Jerez	Madrid	IBE
Barcelona	Madrid	UX	La Rioja	Madrid	ANE
Barcelona	Madrid	VLG	Madrid	A Coruña	IBE
Barcelona	Málaga	FR	Madrid	Alicante	IBE
Barcelona	Málaga	VLG	Madrid	Almería	ANE
Barcelona	Mallorca	FR	Madrid	Asturias	IBE
Barcelona	Mallorca	UX	Madrid	Barcelona	IBE
Barcelona	Mallorca	VLG	Madrid	Barcelona	UX
Barcelona	Menorca	UX	Madrid	Barcelona	VLG
Barcelona	Menorca	VLG	Madrid	Bilbao	IBE
Barcelona	Santiago	FR	Madrid	Bilbao	UX
Barcelona	Santiago	VLG	Madrid	Gran Canaria	IBE
Barcelona	Sevilla	FR	Madrid	Gran Canaria	UX
Barcelona	Sevilla	VLG	Madrid	Granada	IBE

Note: VLG, Vueling. IBE, Iberia. ANE, Air Nostrum. FR, Ryanair and UX, Air Europa.

Table 2 (cont.). Routes of the Spanish market included in the sample (2011-2015).

Origin	Destination	Airline	Origin	Destination	Airline
Madrid	Ibiza	FR	Melilla	Madrid	ANE
Madrid	Jerez	IBE	Menorca	Barcelona	VLG
Madrid	Málaga	IBE	Menorca	Madrid	ANE
Madrid	Mallorca	FR	Menorca	Mallorca	ANE
Madrid	Mallorca	IBE	Murcia	Madrid	ANE
Madrid	Mallorca	UX	Pamplona	Madrid	IBE
Madrid	Melilla	ANE	San Sebastián	Madrid	ANE
Madrid	Menorca	UX	Santander	Madrid	ANE
Madrid	Pamplona	ANE	Santander	Madrid	FR
Madrid	San Sebastián	ANE	Santiago	Barcelona	FR
Madrid	Santander	ANE	Santiago	Bilbao	ANE
Madrid	Santander	FR	Santiago	Madrid	FR
Madrid	Santiago	FR	Santiago	Madrid	IBE
Madrid	Santiago	IBE	Sevilla	Alicante	ANE
Madrid	Sevilla	ANE	Sevilla	Barcelona	FR
Madrid	Tenerife Norte	IBE	Sevilla	Barcelona	VLG
Madrid	Valencia	ANE	Sevilla	Gran Canaria	VLG
Madrid	Vigo	IBE	Sevilla	Madrid	IBE
Madrid	Vigo	UX	Sevilla	Valencia	ANE
Málaga	Barcelona	FR	Tenerife Norte	Madrid	IBE
Málaga	Barcelona	VLG	Tenerife Norte	Madrid	UX
Málaga	Madrid	IBE	Valencia	Bilbao	ANE
Mallorca	Barcelona	FR	Valencia	Ibiza	ANE
Mallorca	Barcelona	UX	Valencia	Madrid	ANE
Mallorca	Barcelona	VLG	Valencia	Málaga	ANE
Mallorca	Ibiza	ANE	Valencia	Sevilla	ANE
Mallorca	Madrid	FR	Vigo	Madrid	IBE
Mallorca	Madrid	IBE	Vigo	Madrid	UX
Mallorca	Menorca	ANE			

Note: VLG, Vueling. IBE, Iberia. ANE, Air Nostrum. FR, Ryanair and UX, Air Europa.

Table 3. Demand Equation Results. **Source:** Own elaboration.

Two-Stage Least Squares TSLS					
Instrumental Variables: $const$ $Dath_k$ Dha_k $Dhst_k$ $Lfuel_k$ $Lipc_k$					
Equation I	Coef.	Coef.Value	std. error	z-stat	P-Value
$Const$	$\delta 0$	-6.45	1.75	-3.69	0.0002 ***
$Liev_k$	$\alpha 1$	3.66	0.39	9.27	1.83e-020 ***
Lq_{ik}	$\alpha 2$	2.13	0.19	11.12	9.75e-029 ***
Lp_{ik}	$\alpha 3$	-0.60	0.06	-8.70	3.21e-018 ***
DN_k	$\alpha 4$	0.65	0.14	4.58	4.55e-06 ***
System of equations. Generalized method of moments (GMM)					
Instrumental Variables: $const$ $Dath_k$ Dha_k $Dhst_k$ $Lfuel_k$ $Lipc_k$					
Equation I	Coef.	Coef.Value	std. error	z-stat	P-Value
$Const$	$\delta 0$	-6.48	1.77	-3.65	0.0003 ***
$Liev_k$	$\alpha 1$	3.67	0.40	9.17	4.48e-020 ***
Lq_{ik}	$\alpha 2$	2.13	0.17	12.02	2.64e-033 ***
Lp_{ik}	$\alpha 3$	-0.60	0.06	-8.97	2.81e-019 ***
DN_k	$\alpha 4$	0.64	0.13	4.85	1.18e-06 ***

Two-Stage Least Squares TSLS			
R-squared	0.454584	Adjusted R-squared	0.454383
Mean dependent var	10.45137	S.D. dependent var	1.096588
Sum squared resid	10234.01	S.E. of regression	0.971512

(*): * indicates weak evidence (p between 0.1 and 0.05), ** indicates stronger evidence (p between 0.05 and 0.01), and *** indicates very strong evidence (p smaller than 0.01).

Weak instruments test				
Cragg-Donald minimum eigenvalue = 19.8481				
Critical values for TSLS bias relative to OLS:				
bias	5 %	10 %	20 %	30 %
value	0.00	0.00	0.00	0.00
Relative bias is probably less than 5 %				

Note: A value < 10 may indicate weak instruments (Stock and Yogo, 2005).

Table 4. Market Share Equation Results. **Source:** Own elaboration.

Two-Stage Least Squares TSLS					
Instrumental Variables: $const$ Lc_{ik} Lxn_k $LSM1_{ik}$ $Dtpa_k$					
Equation 2	Coef.	Coef.Value	std. error	z-stat	P-Value
$Const$	$\delta 0$	-0.11	0.03	-2.82	0.0047 ***
Lp_{ik}	$\beta 1$	0.20	0.03	5.59	0.0000 ***
Lq_{ik}	$\beta 2$	-0.23	0.05	-3.87	0.0001 ***
DN_k	$\beta 3$	-0.56	0.08	-6.66	0.0000 ***
System of equations. Generalized method of moments (GMM)					
Instrumental Variables: $const$ Lc_{ik} Lxn_k $LSM1_{ik}$ $Dtpa_k$					
Equation 2	Coef.	Coef.Value	std. error	z-stat	P-Value
$Const$	$\delta 0$	-0.11	0.03	-3.15	0.0016 ***
Lp_{ik}	$\beta 1$	0.20	0.03	5.93	2.88e-09 ***
Lq_{ik}	$\beta 2$	-0.23	0.05	-4.11	3.95e-05 ***
DN_k	$\beta 3$	-0.56	0.07	-7.50	6.23e-014 ***
Two-Stage Least Squares TSLS					
R-squared		0.416123	Adjusted R-squared		0.415961
Mean dependent var		-0.518146	S.D. dependent var		0.546323
Sum squared resid		1916.443	S.E. of regression		0.420391

(*): * indicates weak evidence (p between 0.1 and 0.05), ** indicates stronger evidence (p between 0.05 and 0.01), and *** indicates very strong evidence (p smaller than 0.01).

Weak instruments test				
Cragg-Donald minimum eigenvalue = 29.0831				
Critical values for TSLS bias relative to OLS:				
bias	5 %	10 %	20 %	30 %
value	0.00	0.00	0.00	0.00
Relative bias is probably less than 5 %				

Note: A value < 10 may indicate weak instruments (Stock and Yogo, 2005).

Table 5. Price Equation Results. Source: Own elaboration.

Two-Stage Least Squares TSLS					
Instrumental Variables: const $Dtpa_k$ $Dath_k$ Dat_k $Lpob_k$ $Liph_k$					
Equation 3	Coef.	Coef.Value	std. error	z-stat	P-Value
Const	δ3	3.76	0.64	5.87	4.13e-09 ***
Ld_k	θ2	-0.09	0.05	-1.78	0.0745 *
Lc_{ik}	θ3	-0.63	0.10	-6.19	5.74e-10 ***
DN_k	θ3	-1.13	0.10	-11.34	8.37e-030 ***
Lq_{ik}	θ4	-0.38	0.14	-2.67	0.0075 ***

System of equations. Generalized method of moments (GMM)					
Instrumental Variables: const $Dtpa_k$ $Dath_k$ Dat_k $Lpob_k$ $Liph_k$					
Equation 3	Coef.	Coef.Value	std. error	z-stat	P-Value
Const	δ3	3.70	0.61	6.06	1.33e-09 ***
Ld_k	θ2	0.09	0.05	-1.83	0.0667 *
Lc_{ik}	θ3	-0.63	0.10	-6.19	5.89e-010 ***
DN_k	θ3	-1.15	0.09	-12.32	6.74e-035 ***
Lq_{ik}	θ4	-0.39	0.13	-2.85	0.0043 ***

Two-Stage Least Squares TSLS			
R-squared	0.288211	Adjusted R-squared	0.287949
Mean dependent var	-0.512544	S.D. dependent var	0.818686
Sum squared resid	6514.746	S.E. of regression	0.775129

(*): * indicates weak evidence (p between 0.1 and 0.05), ** indicates stronger evidence (p between 0.05 and 0.01), and *** indicates very strong evidence (p smaller than 0.01).

Weak instruments test				
Cragg-Donald minimum eigenvalue = 20.3802				
Critical values for TSLS bias relative to OLS:				
bias	5 %	10 %	20 %	30 %
value	0.00	0.00	0.00	0.00
Relative bias is probably less than 5 %				

Note: A value < 10 may indicate weak instruments (Stock and Yogo, 2005).

Table 6. Entropy, Herfindahl and Lerner Index (2014). **Source:** Own elaboration.

	TOTAL	SHARE (%)	ENTROPY INDEX	HERFINDAL INDEX	LERNER INDEX
Vueling	15,104,393	29.54	0.16	0.09	0.17
Ryanair	9,918,910	19.36	0.14	0.04	0.07
Iberia + IB Express	9,871,562	19.27	0.14	0.04	0.07
Air Europa	9,089,176	17.74	0.13	0.03	0.06
Air Nostrum	5,219,415	10.19	0.10	0.01	0.02
Air Berlin	1,930,997	3.77	0.05	0.00	0.00
Others	92,21	0.18	0.00	0.00	0.00
TOTAL	51,226,663	100	0.73	0.21	0.41



Facultad
de Ciencias
Económicas y
Empresariales

Departamento
de Economía
Aplicada y
Estadística



**Revista de Evaluación de
Programas y Políticas Públicas**
JOURNAL OF PUBLIC PROGRAMS AND POLICY EVALUATION

El sistema aeroportuario español. Un análisis de concentración y volatilidad

The Spanish airport system. An analysis of concentration and volatility

Núm. 9 (2017), pp. 47-73

Martínez-San Román, Valeriano*

Mateo-Mantecón, Ingrid**

Sainz-González, Rubén***

Recibido: **octubre, 2017**

Aceptado: **diciembre, 2017**

JEL Clasif: D23; D40; L10; L93

DOI: [10.5944/reppp.9.2017.20005](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.20005)

* VALERIANO MARTÍNEZ-SAN ROMÁN: Departamento de Economía, Universidad de Cantabria. E-mail: martinezv@unican.es

** INGRID MATEO-MANTECÓN: Departamento de Economía, Universidad de Cantabria. E-mail: mateoi@unican.es

*** RUBÉN SAINZ-GONZÁLEZ: Departamento de Economía, Universidad de Cantabria. E-mail: sainzru@unican.es

Resumen

En este trabajo se analiza la estructura del sistema aeroportuario español, en particular se realiza un estudio sobre la concentración y volatilidad en la distribución de pasajeros, tanto desde el punto de vista de los aeropuertos existentes como de las compañías aéreas que los utilizan. Asimismo, el estudio de la distribución de pasajeros dentro de cada aeropuerto permitirá observar el efecto que la inclusión de compañías de bajo coste ha tenido, permite determinar los efectos relativos a la crisis internacional, así como los cambios legislativos que han afectado a AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea). Se han calculado una serie de índices de concentración y volatilidad a partir de datos de pasajeros de 46 aeropuertos españoles, desde 2004 hasta 2015. Los resultados apuntan hacia una estructura del sistema aeroportuario caracterizada por una concentración limitada y una volatilidad muy baja.

Palabras clave: Concentración; Volatilidad; Aeropuertos; Aerolíneas; España; Pasajeros

Abstract

This paper analyzes the structure of the Spanish airport system. In particular, it studies the concentration and volatility of passenger distribution, both from the point of view of the airport and the airline. Likewise, the study of passenger distribution within each airport allows observing the effect of the inclusion of low cost airlines; it allows determining the effects related to the international crisis, and the effects of the legislative changes that have affected AENA. A series of concentration and volatility indices are calculated using data on passengers for 46 Spanish airports from 2004 to 2015. The results point to an airport system structure characterized by limited concentration and very low volatility.

Key Words: Concentration; Volatility; Airports; Airlines; Spain; Passengers

1. Introducción

Según el informe anual de 2014 sobre el sector aéreo publicado por el Air Transport Action Group (ATAG), el impacto económico total de la aviación a nivel mundial en dicho año supuso alrededor del 3,5 % del PIB mundial (alrededor de 2,5 billones de dólares) y generó alrededor de 62,7 millones de empleos (directos, indirectos, inducidos y catalíticos)¹ en todo el mundo. A nivel nacional, el sector aéreo tuvo un impacto total cercano al 9 % del PIB nacional y dio empleo a cerca de 1,5 millones de personas. Asimismo, el transporte aéreo resulta fundamental para el transporte de mercancías de alto valor añadido y productos perecederos (en 2014, el 35 % del valor del comercio mundial y 0,5 % del volumen de dicho comercio), permite la cohesión territorial, destacando la integración de los territorios insulares, así como la conectividad ente los continentes (ATAG, 2016). A modo de ejemplo, el aeropuerto de Madrid-Barajas generó en 2012 más de 105.000 empleos y 5.140 millones de euros de valor añadido bruto en la Comunidad de Madrid (impactos directos, indirectos, inducidos y catalíticos), lo que representa alrededor de un 3,4 % del empleo y un 2,8 % del valor añadido de la Comunidad Autónoma (Sanz y Ramos, 2013).

A la importancia del sector aéreo en la actualidad ha contribuido de forma notable su creciente dinamismo a lo largo de los últimos lustros. La construcción de nuevos aeropuertos y modernización y ampliación de las infraestructuras ya existentes, la aparición de nuevas compañías aéreas, el aumento en el número de destinos y frecuencias y la caída en el precio de los billetes aéreos han generado una mejora significativa en el bienestar de los consumidores.

Los aeropuertos españoles se han caracterizado desde 1991 por una gestión centralizada a través de la sociedad AENA. S.A. (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea) que gestiona 46 aeropuertos y 2 helipuertos de interés general (Fig. 1). Asimismo, AENA participa en la gestión de 15 aeropuertos en Europa y América latina. En 2011 comienza la privatización de la sociedad pública. Para ello, se crea la sociedad mercantil AENA Aeropuertos, entidad pública empresarial que sigue ejerciendo la gestión y explotación de los servicios aeroportuarios, dejando a AENA las competencias en materia de control de la navegación y el espacio aéreo. La estrategia de privatización consistía en sacar a licitación el 90 % de los aeropuertos de Madrid-Barajas y Barcelona- El Prat mediante una concesión a 20 años. Asimismo, y de forma paralela, se aprobaba la entrada de capital privado en el 49 % de AENA Aeropuertos. El cambio de gobierno a finales de 2011 provocó, no obstante, un cambio en la estrategia de privatización. Si bien el objetivo del nuevo gobierno era facilitar la entrada de capital privado en la sociedad, paralizó la concesión de los aeropuertos de Madrid y Barcelona con el objetivo de mantener íntegra la gestión de la red. De esta forma, en el verano de 2014 AENA Aeropuertos pasó a denominarse AENA y Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea se convirtió en ENAIRE, ente que asumió el 100 % de las acciones de la nueva AENA y coordinó la operación de privatización del 49 % de su capital, que culmina en febrero de 2015 con la salida a bolsa.

¹ La literatura económica referente al estudio del impacto económico distingue habitualmente el impacto directo, indirecto e inducido. Adicionalmente a estos, existen otros efectos económicos que pueden imputarse a la presencia del aeropuerto en el territorio, el cual actúa como facilitador de la actividad económica en otros sectores. Este impacto se conoce en la literatura como impacto catalítico, ya que estas actividades económicas podrían no existir o ser mucho menores si el aeropuerto no existiese (Cooper y Smith, 2005).

El objetivo de este trabajo consiste en el estudio de la evolución y distribución de los pasajeros del sistema aeroportuario español para el periodo 2004-2015. En particular, realizaremos un análisis de concentración. En la literatura de economía industrial son habituales los estudios enfocados en la concentración económica de un mercado o industria en particular. La concentración es, por tanto, un asunto de especial interés en el análisis de la estructura de una industria, bien porque puede influir en los beneficios de las empresas o bien porque es la consecuencia de la dinámica de los mercados.

Consideramos que el estudio de la concentración de la distribución de pasajeros aéreos en España resulta de notable interés y es relevante, especialmente durante el periodo de análisis que se propone. La fuerte inversión en infraestructuras aeroportuarias realizada por el gobierno español desde el año 2000, el nacimiento y fuerte crecimiento de numerosas compañías aéreas de bajo coste, el aumento en el número de rutas y la crisis económica que comenzó en 2008 han podido jugar un papel determinante en la evolución de la estructura de la industria aérea.

Para desarrollar el objetivo mencionado, en este trabajo pretendemos analizar la concentración de los pasajeros del sistema aeroportuario español desde una triple óptica. En primer lugar, analizaremos el grado de concentración del sistema utilizando datos de pasajeros por aeropuerto y pasajero por aerolínea. En segundo lugar, realizaremos un análisis de la concentración de aerolíneas dentro de cada uno de los aeropuertos. Por último, estudiaremos la distribución geográfica de los pasajeros a través de un análisis espacial.

Es importante tener en cuenta que la concentración económica tiene una doble dimensión. Por un lado, podemos hablar de concentración agregada cuando hacemos referencia al grado en que un número reducido de empresas controlan la producción de un sector. Esta dimensión de la concentración, extrapolada al caso que nos ocupa, analizaría el grado en que un número reducido de aeropuertos o aerolíneas controla el tráfico de pasajeros. En segundo lugar, podemos hablar de concentración de mercado, haciendo referencia al grado en que dicho mercado está concentrado en un número determinado de agentes. De esta forma, aplicado al objetivo de este trabajo, puede darse el caso en que haya un número reducido de aeropuertos/aerolíneas o que haya un número más elevado, pero uno de ellos, o unos pocos, tengan un control alto del tráfico de pasajeros. Así, el grado de concentración aeroportuaria dependerá del número de compañías que hay en un determinado aeropuerto y de la desigualdad del tamaño de las mismas. La literatura económica justifica que cuanto mayor es el número de agentes que forman un mercado, así como cuanto más homogénea es la distribución del poder de mercado de estos, más eficiente resulta dicho mercado (Evans, 1987).

Además de las medidas de concentración que presentaremos más adelante, también realizaremos un análisis de la volatilidad/inestabilidad como indicador alternativo a los índices de concentración, ya que el grado de competencia existente no solo está relacionado con el grado de concentración, sino que también depende de cómo evolucione la posición relativa de las empresas de dicho mercado a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos apuntan hacia una estructura de mercado caracterizada por una concentración limitada y una volatilidad muy baja. Estas características se ponen de manifiesto tanto para el caso de los aeropuertos como para el caso de las aerolíneas que componen y operan en el sistema aeroportuario español.

La estructura del trabajo es la siguiente. En el siguiente apartado se mostrará la metodología empleada, se definen los diferentes índices empleados tanto para el análisis de concentración del sistema aeroportuario, de los diferentes aeropuertos, así como dentro de cada aeropuerto por compañías aéreas, las medidas de volatilidad, y las medidas relativas al análisis espacial. Posteriormente se exponen los datos empleados, así como los resultados obtenidos, para finalizar con una serie de conclusiones sobre los indicadores obtenidos.

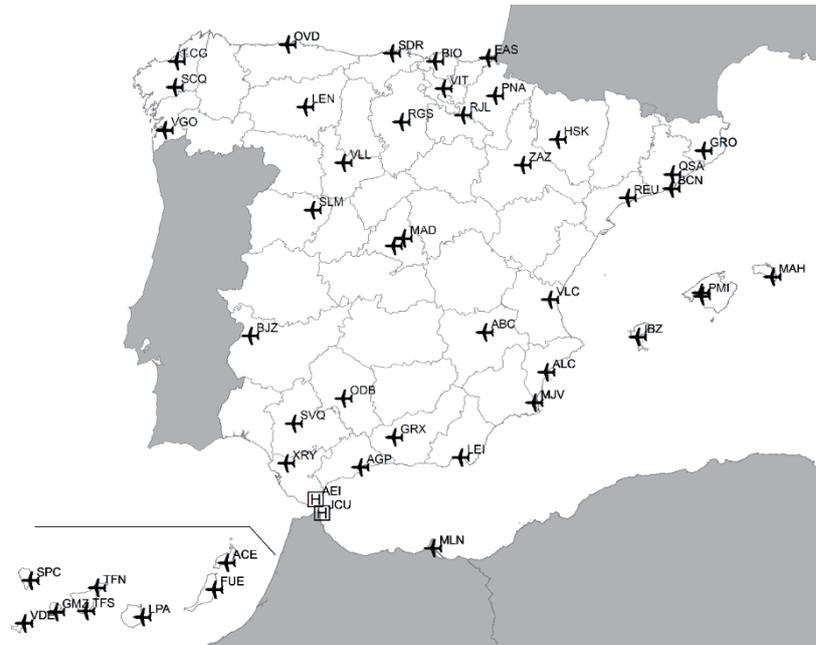


Figura 1. Localización de los aeropuertos y helipuertos nacionales. **Fuente:** elaboración propia a partir de datos de AENA.

2. Metodología

En la literatura existe una gran cantidad de índices que miden el grado de concentración de una industria o mercado. Éstos índices tratan de cuantificar el mayor o menor grado de igualdad en el reparto del total del mercado entre las distintas empresas que operan en él. No obstante, la existencia de diferentes índices para cuantificar la concentración en un mercado implica también la posibilidad de obtener resultados diferentes dependiendo del uso de unos u otros.

Los índices de concentración que analizaremos en este trabajo serán calculados a partir de la metodología que aparece en diversos estudios sobre el análisis de la concentración portuaria (González Laxe *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2004). En concreto, construiremos el índice de Herfindahl-Hirschman y Herfindahl-Hirschman normalizado, los coeficientes de concentración de orden K y el índice de entropía. Asimismo, construiremos un índice de la volatilidad/inestabilidad del mercado. Este último índice permite distinguir entre mercados dinámicos y estáticos y complementa los índices de concentración anteriores.

Para finalizar, realizaremos un estudio de la distribución espacial de los pasajeros en

el sistema aeroportuario español. Este análisis trata de determinar la autocorrelación espacial, positiva (concentración) o negativa (dispersión), en la distribución de pasajeros. Para ello utilizaremos los índices de Moran (Cliff y Ord, 1981) y Geary (Geary, 1954).

2.1. Índices de concentración

La determinación de indicadores de concentración no es un trabajo destacable por sí mismo. Lo será, en la medida en que permita realizar comparaciones con la situación perfectamente competitiva, la cual mostraría la situación más eficiente desde el punto de vista económico (Evans, 1987). Los mercados competitivos se caracterizan por un número de participantes muy elevado en los cuales la posición que ocupa cada uno de ellos es insignificante con respecto a la suma total.

A la hora de determinar indicadores de concentración, se observa la distribución de alguna variable destacada del mercado objeto de estudio. En nuestro caso, la distribución del número de pasajeros que emplean el sistema aéreo español, por aeropuertos y por aerolíneas en cada aeropuerto.

A pesar de sus limitaciones, los índices de concentración son la principal herramienta para analizar el nivel de competencia que existe en un determinado mercado. Asimismo, los índices de concentración deberían cumplir una serie de propiedades deseables (Hall y Tideman, 1967; Hannah y Kay, 1977) que pueden resumirse en dos:

- 1.- La transferencia de parte de la producción de una empresa a otra de mayor dimensión no debe disminuir el valor del índice de concentración.
- 2.- En caso de unión de dos o más empresas, el índice de concentración no debe disminuir.

A continuación, vamos a exponer una serie de indicadores de concentración que se suelen emplear en la literatura económica y que son los que se han utilizado en este artículo.

2.1.1. Índice de Herfindahl-Hirchsman y Herfindahl-Hirchsman normalizado

Este índice es frecuentemente utilizado para medir la concentración de las industrias, y a su vez es una herramienta muy útil para identificar el grado de concentración en cualquier sistema económico, incluido el sistema aeroportuario. Forma parte de la familia de índices Hannah-Kay. Se define como el sumatorio de los cuadrados de la participación en el mercado de cada compañía. En nuestro caso dicha participación se medirá mediante el número de pasajeros de cada aeropuerto/aerolínea respecto al tráfico total, del siguiente modo:

$$HHI = \sum_{i=1}^N S_i^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{T_T} \right)^2 \quad (1)$$

donde,

S_i = Cuota de mercado de cada aeropuerto/aerolínea i

T_i = Tráfico del aeropuerto/aerolínea i

T_T = Tráfico total

El índice toma valores entre 1 y $1/N$, donde N es el número de aeropuertos/aerolíneas. Valores más elevados del índice indican un mayor grado de concentración. Así, un índice igual a 1 representa una situación de monopolio mientras que un valor igual a $1/N$ indica competencia perfecta (todas las empresas tienen la misma cuota de mercado). Este índice tiene algún que otro inconveniente ya que se basa en la premisa de que todas las empresas compiten entre sí en la misma medida en un mercado, pero en situaciones reales los niveles de competencia dependen de la localización de los aeropuertos ya que cuanto más cerca estén mayor será la competencia entre sí (Lijesen, 2004).

Una característica muy interesante del índice de Herfindahl-Hirschman es que nos permite obtener el número de empresas de igual tamaño necesarias para obtener el mismo valor del índice. El número de empresas equivalente se calcula como la inversa del índice de Herfindahl-Hirschman y es utilizado a menudo para clasificar las industrias en función de su grado de concentración.

A la hora de analizar los resultados de este índice se debe tener en cuenta que, debido a su expresión de cálculo, sobrevalora a las empresas que tienen mayor tamaño y muestra también problemas en mercados en los cuales el tamaño de las empresas es muy heterogéneo.

Debido al inconveniente que surge al utilizar el HHI, y que se produce por la falta de estandarización que afecta a la comparación de los datos en términos absolutos, la literatura propone el índice de Herfindahl-Hirschman normalizado. De esta forma, teniendo en cuenta el número de empresas que operan en el mercado, acotamos el valor del índice entre 0 (competencia perfecta) y 1 (monopolio) obteniendo una serie de ventajas al hacerlo. Se corrige el sesgo al alza del índice no normalizado y permite un análisis comparativo entre industrias/mercados (Hall, 2005; Lee *et al*, 2014).

La expresión utilizada para obtener el índice de Herfindahl-Hirschman normalizado es la siguiente (Notteboom, 2006; Gonzalez y Novo, 2012):

$$N HHI = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{T_T}\right)^2 - \frac{1}{N}}{1 - \frac{1}{N}} \quad (2)$$

2.1.2. Coeficientes de concentración

El coeficiente de concentración o ratio de concentración es el índice de concentración más antiguo y uno de los más utilizados en la literatura. El coeficiente de concentración (CR_k) muestra la cuota de mercado acumulada de las k mayores empresas ($k = 2, 4, 6$ y 8). La expresión que utilizaremos para su cómputo es la siguiente (Gonzalez-Laxe *et al*, 2013):

$$CR_k = \sum_{i=1}^k \frac{T_i}{T_T} = \sum_{i=1}^k S_i \quad (3)$$

donde,

T_i = Tráfico de los k mayores agentes del mercado

T_T = Tráfico total del mercado

S_i = Proporción de los k mayores agentes del mercado

2.1.3. Índice de entropía

El índice de entropía también pertenece a la familia de índices Hannah-Kay. Es probablemente el menos intuitivo de los índices de concentración y mide el grado de incertidumbre asociado a una estructura de mercado determinada, de forma que el grado de incertidumbre de que una empresa conserve un cliente al azar aumenta a medida que la concentración se reduce. Así, cuanto mayor es el índice de entropía, mayor es la incertidumbre que tiene una empresa de mantener a un cliente y, por tanto, más probable es que se modifiquen las cuotas de mercado. Cuanto mayor es el índice, menor es la concentración. La entropía es, por tanto, una medida inversa de la concentración.

$$ENTROPIA = \sum_{i=1}^N S_i \ln\left(\frac{1}{S_i}\right) = - \sum_{i=1}^N S_i \ln(S_i) \quad (4)$$

Este índice varía entre 0, situación en la cual la incertidumbre de conservar a un cliente es mínima (situación de monopolio) y $\ln(N)$, cuando todas las participaciones en el mercado son iguales la entropía es máxima, al igual que la incertidumbre de conservar a un cliente.

Al igual que en el caso del índice Herfindahl-Hirschman, es posible obtener una versión normalizada del índice de entropía:

$$ENTROPIA RELATIVA = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \ln\left(\frac{1}{S_i}\right)}{\ln(N)} = - \frac{\sum_{i=1}^N S_i \ln(S_i)}{\ln(N)} \quad (5)$$

El índice de entropía relativa presenta valores comprendidos entre 0 y 1 de forma que el valor máximo del índice no depende del número de empresas, permitiendo las comparaciones intersectoriales.

2.1.4. Medidas de volatilidad/inestabilidad

Los índices de concentración permiten obtener una aproximación al grado de competencia existente en un determinado mercado, pero no permiten seguir su evolución a lo largo del tiempo salvo en el caso en que el número de empresas y su identidad no varíe en el tiempo. Asimismo, el grado de competencia de un mercado no solo depende del número de empresas que operan en él, sino que también está relacionado con cómo evolucione la posición relativa de las empresas en dicho mercado. Esto es, que las empresas que presentan una mayor cuota de mercado no sean siempre las mismas. De esta forma, aunque el nivel de competencia del mercado sea bajo porque existen pocas empresas con una cuota elevada, en términos dinámicos sería un mercado altamente competitivo, ya que la posición de las empresas dominantes va cambiando a lo largo del tiempo.

$$VOLATILIDAD = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N |S_{i,t} - S_{i,t-1}| \quad (6)$$

donde $S_{i,t}$ y $S_{i,t-1}$ representan las cuotas de mercado de la empresa i en el periodo t y $t-1$, respectivamente. En este índice se comparan las cuotas de mercado que tienen

las empresas en dos periodos distintos. Si las empresas, a lo largo del periodo, no han variado sus cuotas de mercado, esa diferencia sería 0, lo que indica una mínima volatilidad implicando, por tanto, un bajo nivel de competencia por que las empresas están en las mismas posiciones durante todo el periodo. Por el contrario, valores del índice cercanos a 1 indican que las empresas que forman parte de este mercado no presentan la misma cuota de mercado a lo largo del periodo estudiado, gran volatilidad, lo que estaría asociado a una mayor competencia.

Estos resultados nos indican que la relación entre los índices de concentración y de volatilidad es inversa (Scherer, 1980). Normalmente, mercados más concentrados son también aquellos con una menor volatilidad, y viceversa.

2.1.5. Análisis espacial. Contrastes de autocorrelación espacial

La realización de análisis de tipo espacial está asociada al tratamiento de datos espaciales, esto es, datos que tienen asignada una referencia geográfica, lo que permitiría localizarlos de forma precisa en un mapa (Haining, 2003). Dentro de esta definición se incluyen datos de campos (superficies) o datos asociados a objetos como puntos, líneas o polígonos. La Primera Ley Geográfica establece que «todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes» (Tobler, 1970). De esta forma, el término de autocorrelación espacial está asociado a la existencia de una relación de una variable consigo misma, de tal modo que los valores de esta variable en un punto guardan relación con los de esa misma variable en otros puntos cercanos geográficamente. En definitiva, la autocorrelación espacial se caracteriza porque las observaciones realizadas en diferentes lugares pueden no ser independientes entre sí (Gunaratna, Liu y Park, 2013).

Esta correlación geográfica puede presentar un signo positivo o negativo. En el primer caso, una autocorrelación espacial positiva indica que valores elevados/bajos de una variable están relacionados con valores también elevados/bajos de esa misma variable en puntos próximos geográficamente. Esto es, la variable en cuestión muestra un patrón de concentración espacial. La autocorrelación espacial negativa, por su parte, nos indica una distribución espacial dispersa, esto es, valores elevados/bajos de una variable están relacionados con valores bajos/elevados de esa misma variable en lugares próximos. Por último, una distribución espacial aleatoria indica la ausencia de autocorrelación espacial.

Para evaluar la autocorrelación espacial de los datos es necesario tener en cuenta una matriz de pesos basada en las distancias geográficas entre las observaciones de la variable. En este sentido, no hay una única opción, sino que en la literatura se emplean diferentes matrices de pesos siendo las más utilizadas la matriz inversa de distancias (otorgan un valor peso a las observaciones cercanas), la matriz binaria (matriz 0/1 que toma el valor 1 si dos regiones son vecinas y 0 si no lo son), la matriz inversa del cuadrado de la distancia y las matrices truncadas a partir de un determinado valor de la distancia (toman el valor inverso de la distancia hasta un determinado límite y 0 para las observaciones más alejadas de ese límite). En este trabajo, y dadas las ventajas e inconvenientes de cada una de las matrices anteriormente mencionadas, hemos optado por realizar los test de autocorrelación espacial empleando 5 matrices distintas (inversa de la distancia, binaria, inversa del cuadrado de la distancia, inversa de la distancia hasta 150km e inversa de la distancia hasta 300km).

Habitualmente se utilizan dos índices de autocorrelación espacial, el I de Moran y el C de Geary.

TEST DE MORAN

El test de Moran o índice I de Moran (Moran, 1950) prueba la autocorrelación espacial global para datos continuos. Se basa en los productos cruzados de las desviaciones de la media y se calcula para las observaciones sobre una variable x en las ubicaciones i, j como:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}} \quad (7)$$

donde:

\bar{x} es la media de la variable x (en nuestro caso, número de pasajeros),

w_{ij} , son los elementos de la matriz de pesos.

Los valores del test de Moran oscilan entre -1 (indicando dispersión espacial, autocorrelación espacial negativa) a 1 (autocorrelación espacial positiva, concentración espacial). Un valor de cero indica un patrón espacial aleatorio. Por lo tanto, entre -1 y 0 estaremos ante dispersión y entre 0 y 1 encontraremos concentración espacial de los pasajeros.

TEST DE GEARY

El índice C de Geary (Geary, 1954) se basa en las desviaciones en las respuestas de cada observación entre sí. La fórmula para su cálculo se detalla a continuación:

$$C = \frac{n - 1}{2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - x_j)^2}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

Este índice oscila entre 0 (autocorrelación positiva máxima) y 2 (autocorrelación negativa alta). Si el valor de C de Geary es menor que 1, indica una autocorrelación espacial positiva, es decir, concentración. Si el valor se encuentra entre 1 y 2 nos indica dispersión. Un valor igual a 1 sugiere aleatoriedad de la distribución espacial.

3. Datos

El estudio de la concentración y evolución del sector aéreo español requiere conocer el número de pasajeros transportados en cada aeropuerto español y por cada compañía aérea que opera en España. Estos datos han sido obtenidos directamente de AENA. Para poder realizar el estudio de la distribución espacial es necesario conocer las distancias que separan a cada uno de los aeropuertos del resto. Para ello se han utilizado las coordenadas geográficas de cada aeropuerto y se ha calculado la distancia ortodrómica entre ellos (distancia más corta entre dos puntos situados en la superficie de una esfera). Asimismo, para realizar un análisis comparativo hemos agrupado los aeropuertos españoles en 5 categorías siguiendo la clasificación utilizada por AENA en función del número de pasajeros/año como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de los aeropuertos españoles. **Fuente:** elaboración propia a partir de datos de AENA

Grupo	Aeropuertos
Gestión individualizada	Madrid-Barajas (MAD); Barcelona-El Prat (BCN); Palma de Mallorca (PMI)
Grupo Canarias	Gran Canaria (LPA); Tenerife Sur (TFS); Tenerife Norte (TFN); Fuerteventura (FUE); Lanzarote (ACE); La Palma (SPC); La Gomera (GMZ); El Hierro (VDE)
Grupo 1 (> 2 mill. pax/año)	Alicante (ALC); Bilbao (BIO); Girona (GRO); Ibiza (IBZ); Málaga (AGP); Menorca (MAH); Sevilla (SVQ); Valencia (VLC).
Grupo 2 (> 0,5 mill. pax/año)	Almería (LEI); Asturias (OVD); Coruña (LCG); Granada-Jaén (GRX); Jerez (XRY); Murcia (MUV); Reus (REU); Santander (SDR); Santiago (SCQ); Vigo (VGO); Zaragoza (ZAZ)
Grupo 3 (< 0,5 mill. pax/año)	Albacete (ABC); Algeciras (AEI); Badajoz (BJZ); Burgos (RGS); Ceuta (JCU); Córdoba (ODB); Huesca (HSK); León (LEN); Logroño (RJL); Madrid-Cuatro Vientos (MCV); Melilla (MLN); Pamplona (PNA); Sabadell (QSA); Salamanca (SLM); San Sebastián (EAS); Son Bonet (SBO); Valladolid (VLL); Vitoria (VIT)

Para la realización del análisis de concentración, sin embargo, no se han considerado todos los aeropuertos de la red de AENA. De los 46 aeropuertos y 2 helipuertos que componen el sistema aeroportuario español hemos eliminado los aeropuertos de La Gomera, Córdoba, Huesca, Madrid-Cuatro Vientos, Melilla, Sabadell y Son Bonet y los helipuertos de Algeciras y Ceuta, bien por falta de datos o porque no cuentan con tráfico comercial.

Un primer análisis sobre la evolución del tráfico de pasajeros muestra un aumento significativo entre 2004 y 2015. No obstante, este crecimiento no ha sido homogéneo en el tiempo como se puede observar en la Figura 2. Durante el periodo de análisis se observan varios sub-periodos bien diferenciados. Destaca el fuerte crecimiento experimentado entre 2004 y 2007, con un crecimiento acumulado en torno al 39 %. A partir del año 2008 y hasta 2013 se encadenan periodos de aumento y disminución del número de pasajeros que oscilan entre un 10 % (2009-2011) y un -8,5 % (2011-2013). Para finalizar, entre 2013 y 2015 los aeropuertos españoles han vuelto a la senda de crecimiento en el número de pasajeros, tendencia que se ha mantenido a lo largo del año 2016.

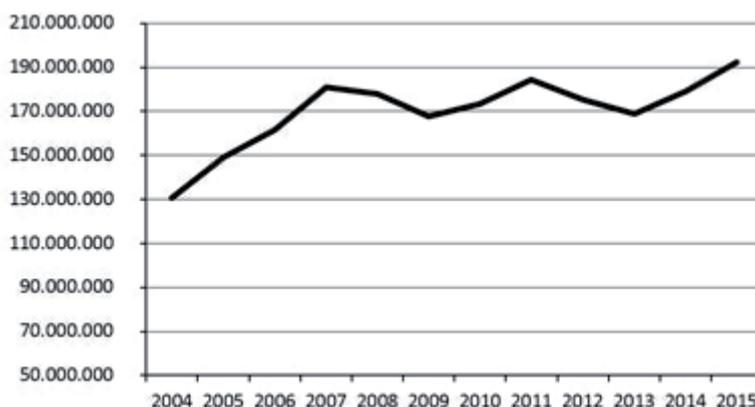


Figura 2. Número total de pasajeros de los aeropuertos españoles. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

La figura 3 muestra de forma sintética la evolución del número de pasajeros entre 2004 y 2015 para los distintos aeropuertos objeto del estudio. Al igual que en el caso anterior, puede observarse también un comportamiento bastante heterogéneo. Mientras que los aeropuertos más grandes y los situados en la costa muestran un balance positivo en cuanto al número de pasajeros, con tasas de crecimiento anuales por encima del 5 % en algunos casos, los aeropuertos más pequeños e interiores se caracterizan por una caída notable en el tráfico aéreo, con tasas anuales negativas bastante elevadas.

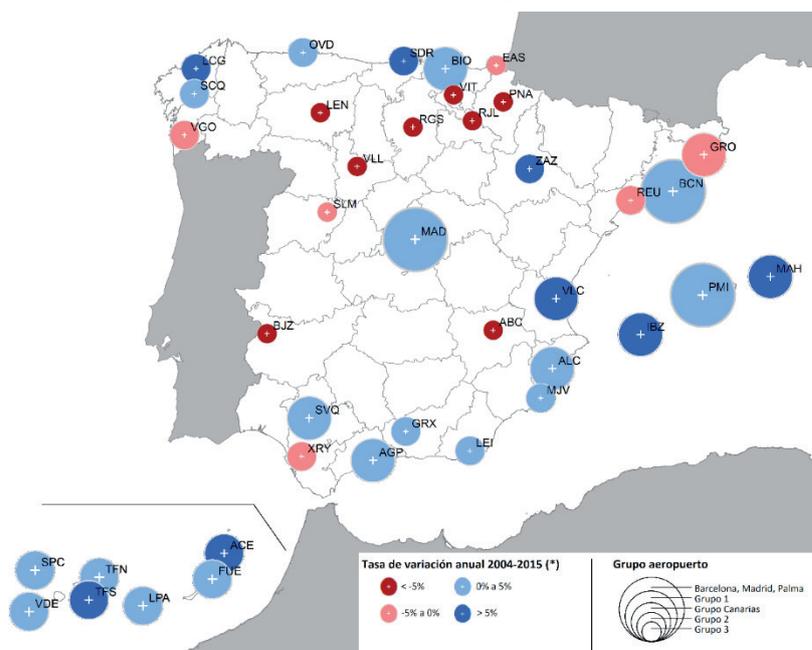


Figura 3. Evolución de los pasajeros por aeropuerto. **Fuente:** elaboración propia a partir de datos de AENA.

4. Resultados

Como se ha comentado anteriormente, en este artículo se ha realizado un análisis de concentración del sistema aeroportuario siguiendo dos enfoques complementarios: (1) utilizando los aeropuertos como unidad de análisis, y (2) desde una perspectiva de compañías aéreas. La notable cantidad de información que se obtiene al computar los diferentes índices de concentración y volatilidad siguiendo los dos enfoques mencionados, hace recomendable un ejercicio de síntesis a la hora de interpretar los resultados obtenidos. Por este motivo no comentaremos detalladamente todos los resultados. No obstante, en el apéndice se incluyen todos los índices de concentración calculados.

4.1. Índices de concentración utilizando el aeropuerto como unidad de análisis

4.1.1. Índice de Herfindahl-Hirschman

La figura 4 presenta los índices de Herfindahl-Hirschman y Herfindahl-Hirschman normalizado para el conjunto del sistema aeroportuario español. En concreto, estos índices

recogen el grado de concentración del número de pasajeros entre los 39 aeropuertos objeto de estudio. A nivel general, podemos observar dos resultados significativos. En primer lugar, el índice se sitúa entre 0,12 y 0,14 (0,1 y 0,12 para caso del índice normalizado). Estos valores, relativamente bajos, sugieren que el grado de concentración del sistema aeroportuario español es reducido. En segundo lugar, la evolución decreciente de ambos índices apunta un descenso en la concentración a lo largo del periodo de análisis. A este hecho han contribuido de forma notable el crecimiento de los aeropuertos de mediano y pequeño tamaño como consecuencia de la inversión en infraestructuras y el establecimiento en ellos de compañías de bajo coste, lo que ha permitido incrementar el número de pasajeros.

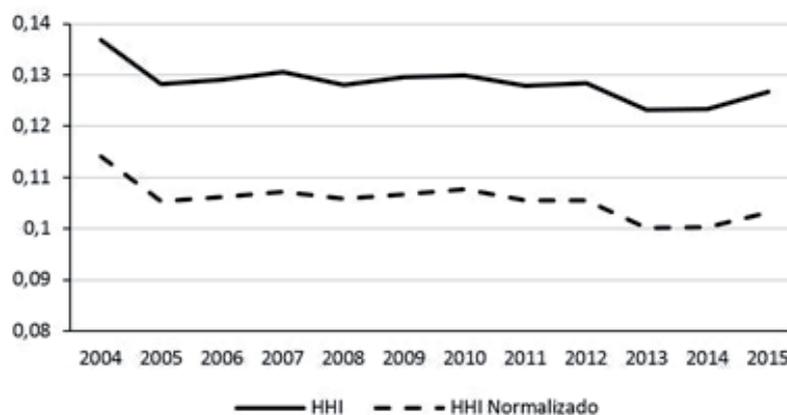


Figura 4. Índices de Herfindahl-Hirschman. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA.

Una característica interesante del índice de Herfindahl-Hirschman es que permite obtener el número de aeropuertos equivalentes. Es decir, el número de aeropuertos de igual tamaño (tráfico de pasajeros) necesarios para alcanzar el mismo valor del índice. El número de aeropuertos equivalentes se obtiene calculando la inversa del índice de Herfindahl-Hirschman. De esta forma y para el sistema aeroportuario español, el número de aeropuertos equivalentes a lo largo del periodo se sitúa entre 7 y 8 de acuerdo a los resultados del índice de HHI obtenidos.

A continuación, analizaremos el índice de Herfindahl-Hirschman para los distintos grupos de aeropuertos. En este caso, lo que tratamos de medir es la distribución de pasajeros entre los aeropuertos de un mismo grupo. Para ello vamos a considerar la clasificación de aeropuertos propuesta por Aena y que está recogida en la Tabla 1. En la Figura 5 observamos el nivel de concentración y su evolución a lo largo del tiempo para estos grupos de aeropuertos. En primer lugar, cabe destacar la existencia de dos tendencias diferenciadas. Por un lado, los aeropuertos más pequeños (G.3) muestran un grado de concentración elevado y creciente. Esta dinámica nos indica que unos pocos de estos aeropuertos concentran una parte importante del tráfico de pasajeros y que, en términos generales, esta tendencia se ha profundizado a lo largo del periodo analizado. En el lado opuesto se sitúan los aeropuertos más grandes (grupo de Madrid, Barcelona y Palma de Mallorca, grupo Canarias y G.1) quienes presentan una menor concentración (un reparto más igualitario de las cuotas de pasajeros) y una tendencia decreciente. Por su parte, los

aeropuertos del grupo 2 (G.2) muestran un grado de concentración también relativamente elevado, pero con una evolución decreciente, lo que sugiere una distribución de los pasajeros más igualitaria entre ellos a lo largo del tiempo.

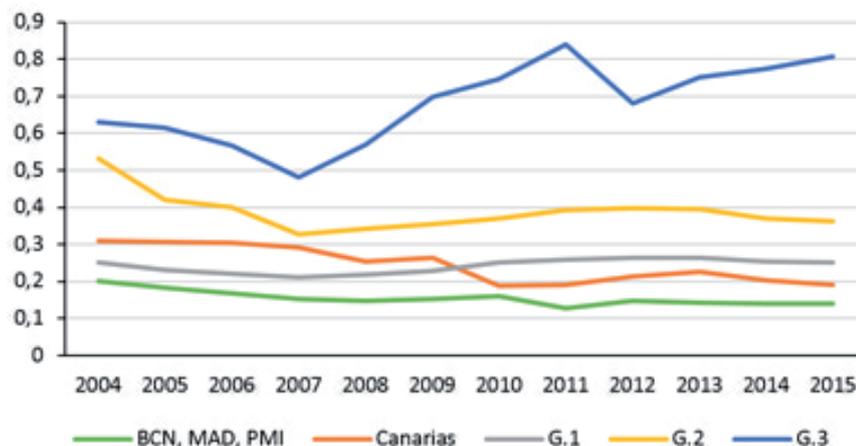


Figura 5. Índices Herfindahl-Hirschman por grupos de aeropuertos. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

4.1.2. Coeficientes de concentración (CR)

A continuación, analizamos los resultados de los índices CR. En este caso, recogemos el porcentaje de pasajeros que mueven los dos aeropuertos de mayor tráfico del sistema (CR2), los cuatro (CR4) y seis (CR6), respectivamente.

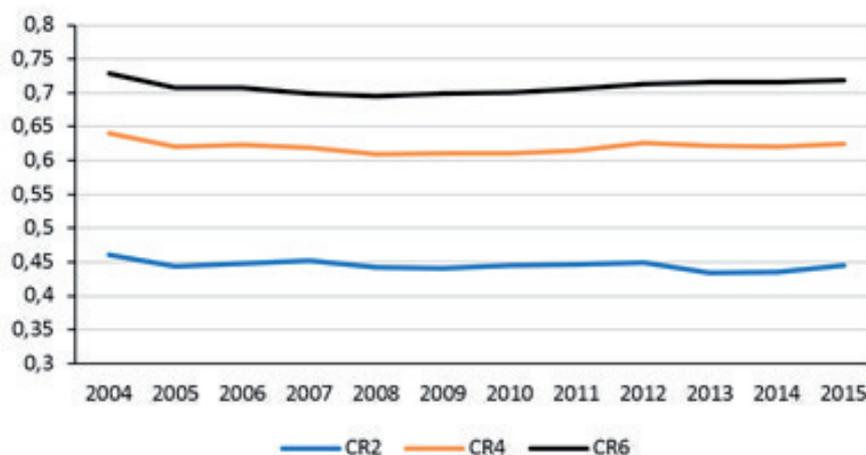


Figura 6. Índices CR para el conjunto de aeropuertos. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

A lo largo del periodo analizado observamos que la cuota de mercado de los principales aeropuertos nacionales es muy estable (Figura 6). De esta forma, los dos aeropuertos con mayor tráfico (Madrid y Barcelona) acumulan alrededor del 45 % de los pasajeros (CR2). Si incluimos los dos siguientes (Palma de Mallorca y Málaga) la cuota acumulada

de mercado de estos cuatro aeropuertos (CR4) se sitúa entre el 60 % y 65 %. Por último, el coeficiente CR6 (los aeropuertos mencionados anteriormente más Alicante y Gran Canaria) muestra una cuota de mercado acumulada ligeramente superior al 70 %.

Los dos índices analizados hasta ahora, Herfindahl-Hirschman y CRs, muestran resultados heterogéneos. Por un lado, el valor del índice de Herfindahl-Hirschman sugiere una concentración de mercado limitada mientras que los coeficientes CR apuntan hacia una concentración mayor. Estos dos resultados, contrapuestos *a priori*, no lo son tanto si profundizamos un poco más en lo que mide cada uno de ellos. Como ya mencionamos en la introducción, la literatura de economía industrial distingue entre dos tipos de análisis de concentración, la concentración agregada y la concentración de mercado. En este sentido, mientras que índice Herfindahl-Hirschman recoge la concentración de mercado, los coeficientes CR miden la concentración agregada.

4.1.3. Índice de entropía

El índice de entropía permite abordar el concepto de la concentración desde un enfoque distinto. En este caso, lo que recoge este índice es el grado de incertidumbre de que un aeropuerto conserve un pasajero al azar. Cuanto mayor es el índice de entropía mayor es la incertidumbre de conservar el cliente y, por tanto, menor la concentración. El valor del índice varía entre 0, cuando la incertidumbre de perder el pasajero es nula, y 1, cuando dicha incertidumbre es máxima.

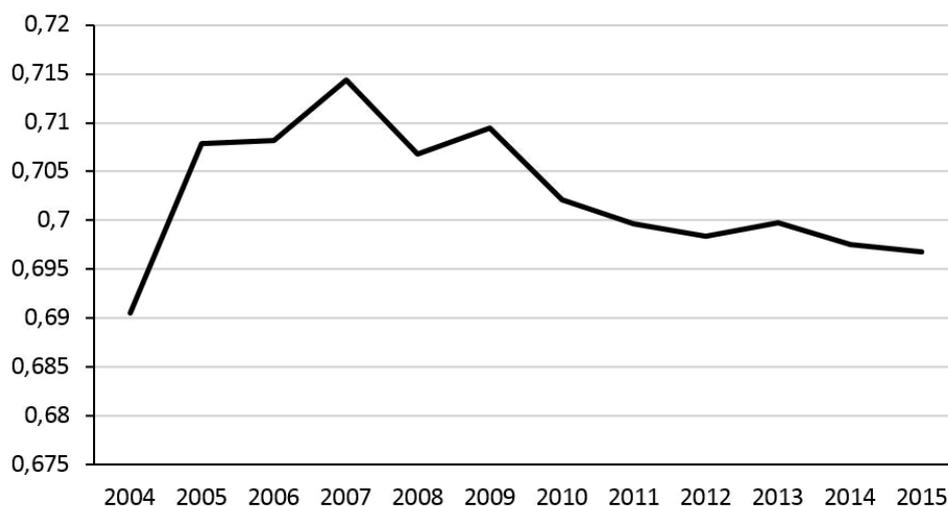


Figura 7. Índice de entropía relativa. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

Los resultados que se observan en la Figura 7 muestran que la incertidumbre de conservar un pasajero se sitúa en torno al 70 %, con una ligera tendencia decreciente, aunque muy pequeña, a partir del año 2007. Los resultados apuntan, por tanto, a una concentración limitada, apoyando la evidencia sugerida por el índice de Herfindahl-Hirschman anteriormente analizado.

4.1.4. Índice de volatilidad

El grado de competencia de un mercado, en nuestro caso del sistema aeroportuario español en cuanto al tráfico de pasajeros, depende tanto del grado de concentración como de la evolución en el tiempo de la posición relativa de las empresas que operan en él. El índice de volatilidad permite complementar la información que aportan los índices de concentración calculados aportando dinamismo al estudio del grado de competencia de los aeropuertos españoles. Este índice oscila entre 0 y 1. Valores cercanos a 0 indican una baja volatilidad, esto es, que los aeropuertos no varían substancialmente su posición relativa en el mercado. Por el contrario, valores cercanos a 1 apuntan hacia una gran competencia, de forma que la posición relativa o cuota de mercado de los aeropuertos varía notablemente en el tiempo.

Los resultados mostrados en la Figura 8 sugieren una volatilidad muy baja, que oscila entre el 1 % (2005-2006) y apenas supera el 3 % en el año con más variabilidad (2012-2013). Observamos, no obstante, un aumento de dicha volatilidad entre 2009 y 2013 fruto, en parte, de la crisis económica que comenzó el 2008. Este aumento de la volatilidad se ve compensado en los últimos dos años, en los que comienza a vislumbrarse la salida de la recesión. Por lo tanto, a la luz de estos resultados, podemos concluir que los aeropuertos españoles mantienen sus posiciones relativas y cuotas de mercado muy estables en el tiempo. Resultado, por otra parte, que ya podía intuirse en base a la Figura 6 donde los coeficientes de concentración (CR) de los principales aeropuertos se mantenían también muy estables en el tiempo.

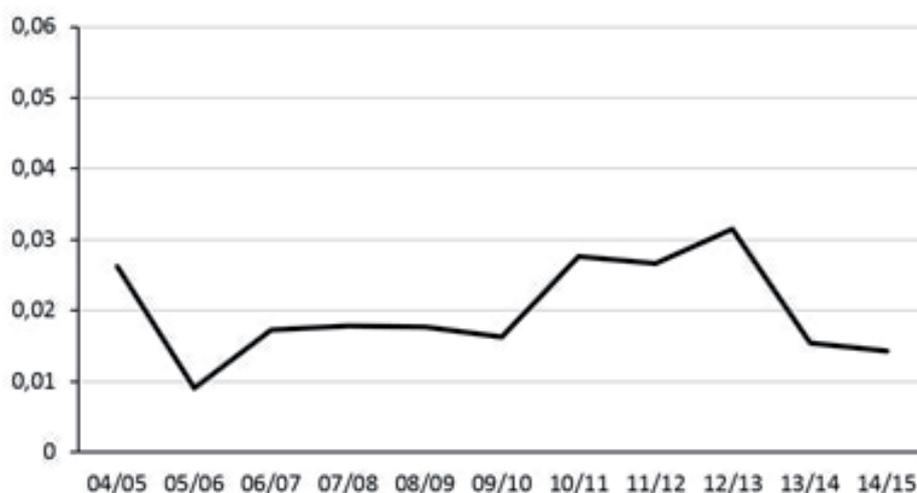


Figura 8. Índice de volatilidad. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

Una justificación complementaria para esta baja volatilidad descansa en lo que se conoce en economía como problema de mercado de referencia. Para el análisis del grado de competencia de un mercado es crucial, en primer lugar, definir el mercado que se va a estudiar (Faull y Nikpay, 1999). De acuerdo con la Comisión Europea:

«La definición de mercado de referencia tanto desde el punto de vista del producto como de su dimensión geográfica tiene una influencia decisiva en la valoración de un caso de competencia.» (Comisión Europea, 1997).

El problema surge cuando es difícil y complejo definir de forma correcta el mercado de referencia. Esta dificultad reside, a menudo, en que no todas las empresas operan en la totalidad del territorio. De esta forma, una empresa pequeña en términos totales del mercado puede disfrutar de una posición dominante en el sub-territorio donde realiza su actividad. Este problema aplicado al caso que nos ocupa se traduce en dos aspectos: (1) no todas las compañías aéreas operan en todos los aeropuertos españoles, y (2) las compañías aéreas no ofrecen los mismos destinos y frecuencias en todos los aeropuertos. Estas dos características unidas pueden hacer que desde el punto de vista nacional el grado de concentración y volatilidad sean bajos mientras que a un nivel más desagregado (aeropuerto) se observen tendencias muy distintas.

4.2. Índices de concentración utilizando la aerolínea como unidad de análisis

En este apartado seguiremos la misma estructura que en el apartado anterior si bien la diferencia radica en la unidad de análisis. Mientras que en epígrafe anterior la unidad de análisis era el aeropuerto, ahora utilizaremos las aerolíneas como objeto de estudio.

4.2.1. Índice de Herfindahl-Hirschman

La figura 9 presenta los índices de Herfindahl-Hirschman y Herfindahl-Hirschman normalizado utilizando los volúmenes de pasajeros transportados por las aerolíneas que operan en los aeropuertos españoles. A primera vista, observamos un índice de Herfindahl-Hirschman en torno al 7,5 % para el periodo analizado, que presenta una tendencia creciente desde el año 2007/2008. Estos dos resultados sugieren, por un lado, que el grado de concentración es bajo, y por otro, que la concentración ha aumentado. Este aumento de la concentración a partir del año de inicio de la crisis económica puede ser el resultado de dos fenómenos simultáneos. (1) Disminución de los pasajeros transportados por las compañías tradicionales, con un gran volumen de pasajeros y precios de los billetes más elevados. (2) Crecimiento del volumen de pasajeros que utilizan las compañías de bajo coste para viajar, algunas de ellas con gran peso en el mercado (Ryanair, Vueling) que aumentan significativamente su cuota de mercado.

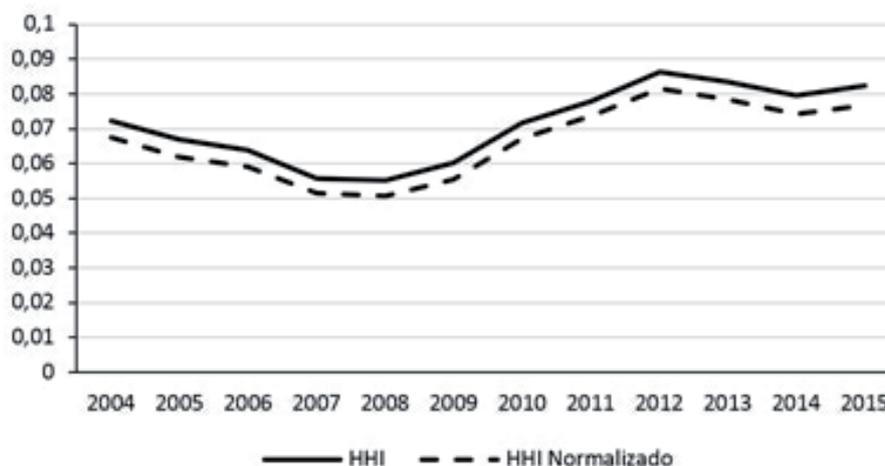


Figura 9. Índices de Herfindahl-Hirschman por aerolíneas. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA.

En base al índice de Herfindahl-Hirschman anterior, el número de aerolíneas equivalentes, esto es, el número de aerolíneas de igual tamaño (volumen de pasajeros) se sitúa entre 18 en el año 2008 y 12 en el año 2015 (Tabla 2).

Tabla 2. Número de aerolíneas equivalentes. **Fuente:** elaboración propia.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
AEROLÍNEAS EQUIV.	13.84	14.93	15.69	17.92	18.12	16.62	13.92	12.83	11.60	11.99	12.58	12.12

Notas: Aerolíneas equivalentes = 1/Índice de Herfindahl-Hirschman

4.2.2. Coeficientes de concentración (CR)

El aumento de la concentración observado a través del índice de Herfindahl-Hirschman puede apreciarse también mediante el estudio de los coeficientes de concentración (CR) que muestran una cuota de mercado acumulada creciente en el tiempo desde 2008 (Figura 10). Al igual que para el caso de los aeropuertos, hemos computado los índices CR2, CR4 y CR6.

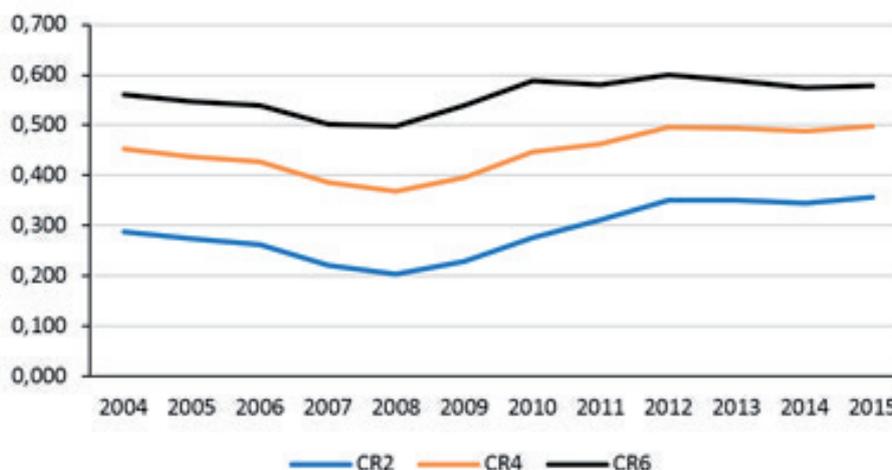


Figura 10. Índices CR para el conjunto de aerolíneas. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

Con respecto a los índices de concentración calculados para las aerolíneas, se debe destacar que a lo largo del periodo estudiado las dos compañías con mayor volumen de pasajeros acumulan cerca del 30 % del volumen total (CR2). Las 4 mayores entre un 40 y un 50 % (CR4). Al añadir las dos siguientes, las 6 compañías más grandes dominan alrededor del 60 % del mercado en términos de pasajeros (CR6). Asimismo, la composición de estos grupos no ha permanecido estable a lo largo del tiempo. Mientras que en el año 2004 las seis compañías aéreas con mayor tráfico de pasajeros fueron Iberia, Air Europa, Spanair, Air Berlín, Air Nostrum y Easyjet; a final del periodo, en 2015 los primeros puestos los ocupaban Ryanair, Vueling, Air Europa, Easyjet y Air Berlín. Tan solo tres compañías de 2004 permanecen en el top 6 en 2015, Iberia ha perdido posiciones bajando desde el número 1 hasta el 12 y Spanair no opera desde el año 2013. Junto con este cambio de composición, es también especialmente relevante que las 2 y 4 primeras compañías han ganado, desde 2008, 15 puntos de cuota de mercado.

4.2.3. Índice de entropía

Si antes vimos que el índice de entropía medía la incertidumbre de que un aeropuerto conservase un pasajero, en este apartado recoge la incertidumbre de que sea una compañía aérea la que mantenga ese pasajero al azar.

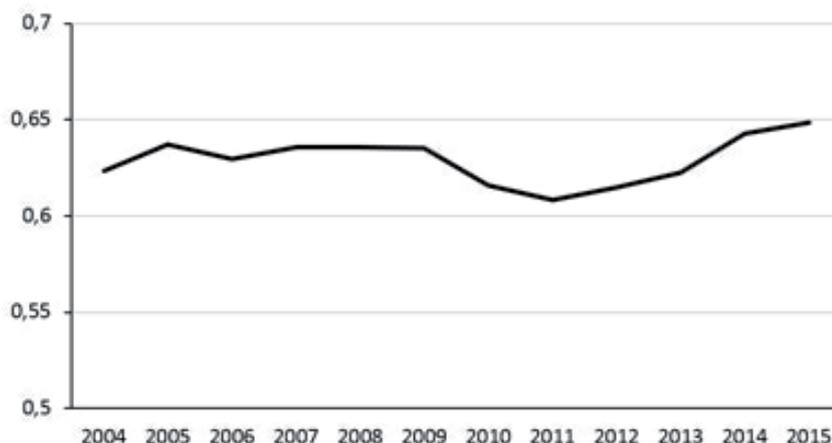


Figura 12. Índice de entropía por aerolíneas. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

El índice de entropía muestra, en promedio, un valor en torno a 0,63 (Figura 12). Este índice es ligeramente inferior al computado para aeropuertos (0,7 Figura 7). Los resultados, por tanto, sugieren una incertidumbre relativamente elevada y, por tanto, apuntan hacia una estructura de mercado competitiva. No obstante, debemos ser cautos a la hora de interpretar este resultado ya que nos enfrentamos, de nuevo, al problema del mercado de referencia enunciado anteriormente. No obstante, resulta importante destacar el notable aumento de la incertidumbre desde 2011, sin duda debido a la recuperación del número de pasajeros tras los primeros años de la crisis económica y la entrada y crecimiento de nuevas compañías aéreas que ha provocado un mayor reparto del mercado entre las aerolíneas.

4.2.4. Índice de volatilidad

El índice de volatilidad por aerolíneas presenta valores comprendidos entre 0,16 en el año 2006/07 y 0,03 en 2011/12. La volatilidad, no obstante, muestra un aumento notable en 2006/07 y 2011/12. En ambos casos, el aumento de la volatilidad puede explicarse, al menos en parte, por cambios en la cuota de mercado de algunas de las aerolíneas con mayor tráfico de pasajeros. De esta forma, entre el año 2006 y 2007 Iberia, la primera compañía por volumen de pasajeros, perdió cuatro puntos porcentuales de cuota de mercado (de 14 % en 2006 a 10 % en 2007) mientras que Air Nostrum pasó del 6,4 % de cuota de mercado al 4,8 %. Al mismo tiempo, Ryanair escaló dos puestos en el ranking (5,2 % a 7 % de cuota de mercado) y Vueling hizo lo propio pasando de 3,3 % de cuota de mercado en 2006 a 5 % en 2007.

El segundo periodo con mayor volatilidad coincide con la puesta en servicio de Iberia Express. Mientras que en el año 2011 aún no existía esta compañía, al año siguiente acumulaba un 2,4 % del mercado. Por su parte, Spanair pasó de ser la cuarta aerolínea más importante (7,2 % de cuota de mercado) a desaparecer prácticamente en 2012 (0,4 % de cuota de pasajeros).

El último año del periodo, con la menor volatilidad (3 %), muestra un afianzamiento de las posiciones relativas de las compañías. De hecho, las diez compañías más importantes en 2014 continúan siéndolo en 2015 y ocupando los mismos puestos en el ranking salvo la novena y décima que intercambian sus posiciones.

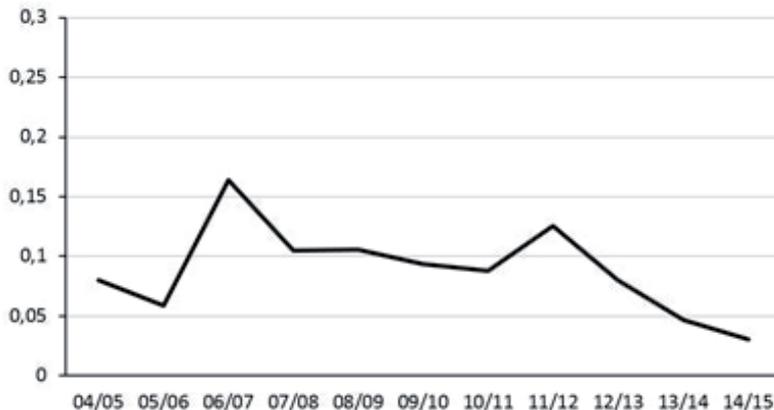


Figura 13. Índice de volatilidad por aerolíneas. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA

A modo de síntesis, la siguiente tabla clasifica los aeropuertos españoles en base a su grado de concentración y volatilidad. Mediante un análisis clúster, los aeropuertos se clasifican en nueve categorías de acuerdo a tres grados de concentración y tres grados de volatilidad. Hemos utilizado el promedio del índice de entropía relativa y del índice de volatilidad en el periodo como ordenación del grado de concentración y volatilidad, respectivamente. Los aeropuertos situados en la esquina superior derecha del cuadro son aquellos con menor concentración y mayor volatilidad y, por tanto, se corresponden con estructuras de mercado más competitivas. En el lado opuesto, esquina inferior izquierda están los aeropuertos con mayor concentración y menor volatilidad, esto es, los que presentan una menor competencia.

Tabla 3. Clasificación de aeropuertos por nivel de competencia. **Fuente:** elaboración propia.

		Grado de Volatilidad (I.Volatilidad)		
		BAJA	MEDIA	ALTA
Grado de Concentración (I. Entropía relativa)	BAJA	Vigo (VGO)	Alicante (ALC), Almería (LEI), Asturias (OVD), Bilbao (BIO), El Hierro (VDE), Fuerteventura (FUE), Gran Canaria (LPA), Granada (GRX), Ibiza (IBZ), Jerez (XRY), Lanzarote (ACE), Málaga (AGP), Menorca (MAH), Murcia (MJV), Tenerife Sur (TFS), Valencia (VLC),	Albacete (ABC), Salamanca (SLM)
	MEDIA	Madrid (MAD), Palma Mallorca (PMI), San Sebastián (EAS), Santander (SDR), Tenerife Norte (TFN),	A Coruña (LGC), Barcelona (BCN), La Palma (SPC), León (LEN), Santiago (SCQ), Sevilla (SVQ), Valladolid (VLL) Zaragoza (ZAZ)	
	ALTA	Girona (GRO), Logroño (RJL), Pamplona (PNA), Reus (REU)	Badajoz (BJZ)	Vitoria (VIT)

4.2.5. Análisis espacial

Por último, afrontamos el análisis de concentración del tráfico de pasajeros desde un enfoque espacial/geográfico. Para ello medimos la autocorrelación o dependencia espacial del volumen de pasajeros que utilizan cada uno de los aeropuertos analizados. Lo que se trata de determinar aquí es si existe una relación espacial entre los aeropuertos en el sistema aeroportuario español. Esta relación puede ser positiva, de tal manera que los aeropuertos con mayor número de pasajeros están situados cerca de otros aeropuertos también grandes; o negativa, si los aeropuertos grandes están situados cerca de aeropuertos pequeños. En definitiva, si hay un patrón de concentración o dispersión, o si, por el contrario, no existe una correlación espacial entre los aeropuertos (los flujos de pasajeros se distribuyen aleatoriamente por el territorio).

Este análisis espacial se realiza tomando como variable objeto de estudio el volumen de pasajeros de cada aeropuerto ponderado por una matriz de pesos determinada por la distancia entre aeropuertos. La Tabla 4 muestra los valores de los índices I de Moran y C de Geary para distintas matrices de distancias. Como se puede observar, en todos los casos salvo en uno (C de Geary y matriz inversa de la distancia truncada a 150km. Autocorrelación positiva, significativo al 10 %) los índices no son significativos, lo que sugiere que la distribución espacial de los pasajeros es aleatoria y, por tanto, no podemos concluir que exista un patrón determinado.

Tabla 4. Índices de autocorrelación espacial.

Matriz de distancia	Estadístico I de Moran		Estadístico C de Geary	
	I	p-valor	C	p-valor
Inversa	-0.024	0.470	1.004	0.473
Binaria	0.015	0.388	0.584	0.183
Inversa al cuadrado	-0.036	0.458	0.957	0.355
Inversa (<150km)	-0.030	0.492	0.635*	0.075
Inversa (<300km)	-0.041	0.432	0.947	0.308

Notas: *, ** y *** denotan significatividad al 10 %, 5 % y 1 %, respectivamente. La hipótesis nula en ambos test es H0: Independencia espacial. El test de Moran varía entre -1 y 1 donde 0 indica independencia espacial. Valores mayores que 0 indican correlación espacial positiva. El test de Geary oscila entre 0 y 2. El valor 1 indica independencia espacial mientras que valores inferiores a 1 sugieren correlación positiva. Variable de estudio: promedio de pasajeros 2004-2015 por aeropuerto.

Como prueba de robustez de estos resultados, la Tabla A3 del apéndice muestra los índices I de Moran y C de Geary para todas las matrices de distancias consideradas utilizando el volumen de pasajeros anual de cada aeropuerto. Los resultados obtenidos en corroboran lo apuntado en el párrafo anterior. Tan solo considerando una matriz inversa de la distancia y truncada a 150km el índice C de Geary sugiere una autocorrelación espacial positiva y, por tanto, un patrón de concentración (aeropuertos grandes están cercanos a otros aeropuertos grandes mientras que aeropuertos pequeños se sitúan cerca de otros aeropuertos pequeños).

5. Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado un análisis descriptivo de la evolución del sistema aeroportuario español en los últimos años en lo relativo a la concentración y volatilidad del flujo de pasajeros. En este sentido se han adoptado dos enfoques complementarios. Por un lado, se ha tomado el aeropuerto como unidad de análisis, lo que nos ha permitido realizar una descripción del sistema de aeropuertos en su conjunto, mostrando cómo se distribuye el tráfico de pasajeros entre los distintos aeropuertos del sistema español. Por otro, hemos bajado un nivel más y hemos observado la concentración y volatilidad dentro de cada aeropuerto. Para ello hemos tomado la aerolínea como unidad de estudio. Como conclusión principal podemos destacar que, en base a los índices calculados, el sistema español de aeropuertos muestra un grado de concentración de pasajeros relativamente bajo (índice Herfindahl-Hirschman), aunque sí es cierto que los cuatro aeropuertos más grandes acumulan en torno al 62 % del flujo total de pasajeros (índice CR4). Por su parte, el índice de entropía muestra un grado de concentración limitado, en línea con el resultado sugerido por el índice Herfindahl-Hirschman.

Por aerolíneas, los resultados apuntan a una concentración aún menor (el índice Herfindahl-Hirschman se sitúa en torno a 0,08); si bien, de nuevo, los pasajeros transportados por las 4 aerolíneas de mayor tamaño suponen la mitad de los totales.

Dadas las características del sistema aeroportuario español, con un número notable de aeropuertos (46 aeropuertos y 2 helipuertos) de los cuales un número significativo son pequeños (29 mueven de 2 millones de pasajeros/año y 18 de ellos de 5000.000 pasajeros/año), los resultados obtenidos son heterogéneos. Mientras que los aeropuertos más grandes muestran un grado de concentración medio, medido a través del índice de entropía relativa, los aeropuertos turísticos y los de menor tamaño se caracterizan por ser los de menor concentración del sistema. En cuanto a la volatilidad, esto es, la probabilidad de variar su posición en el ranking, los aeropuertos españoles muestran, en términos generales, un comportamiento notablemente estático.

Se debe tener en cuenta que a la vista de los resultados la competencia es mayor cuando el estudio se realiza a escala de aerolíneas, lo cual es lógico, ya que encontramos aeropuertos en todas las Comunidades Autónomas. Este hecho puede estar relacionado con las políticas de vertebración del territorio y transferencia de competencias a las Comunidades Autónomas.

En definitiva, el sistema aeroportuario español, en lo referente al tráfico de pasajeros muestra una estructura de mercado caracterizada por una concentración limitada y una volatilidad muy baja. Si bien las estructuras competitivas se caracterizan por una baja concentración y una alta volatilidad, en el caso del sistema aeroportuario esta alta volatilidad no está presente. Este hecho, lejos de indicar necesariamente una estructura poco competitiva, puede responder a una limitación a la hora de definir el mercado de referencia. En este caso concreto, el mercado de referencia no es el mismo para todos los aeropuertos ni para todas las aerolíneas –no operan en todos los aeropuertos ni ofrecen los mismos destinos y frecuencias en cada uno de ellos–.

La expansión de aerolíneas de bajo coste a lo largo de las últimas dos décadas ha permitido que los usuarios/viajeros dispongan de un creciente número de destinos a los que desplazarse, reduciendo, al mismo tiempo, el coste del billete de vuelo para el pasajero.

Esta expansión ha incrementado la competencia entre aerolíneas y ha generado una demanda creciente en el uso de los aeropuertos. Ambos resultados, evidenciados en este trabajo, son fruto, en parte, de las políticas de vertebración territorial y la descentralización de competencias en favor de las Comunidades Autónomas.

A la luz de estas circunstancias, y teniendo en cuenta el carácter del aeropuerto como dinamizador de la actividad económica general del territorio en el que se ubica, se hace necesario un análisis riguroso de este impacto catalítico con el fin de justificar económicamente la inversión pública regional en las actividades aeroportuarias y fortalecerla o reducirla en consecuencia. Asimismo, la implementación de estrategias de inversión conjuntas del sector público local y los agentes económicos privados más beneficiados por estos efectos redundará en la priorización de las líneas de actuación y la racionalización de la inversión.

6. Referencias Bibliográficas

- Air Transport Action Group (ATAG) (2016). *Aviation, benefits beyond borders*. Ginebra, Suiza.
- Avans, A. W. (1987). A theoretical comparison of competition with other economic regimes for bus services. *Journal of Transport Economics and Policy*, 21, 7-36.
- Cliff, A. D. & Ord, J. K. (1981). *Spatial processes: models & applications* (Vol. 44). London: Pion.
- Comisión Europea (1997). Comunicación relativa a la definición de mercado de referencia a efectos de la normativa comunitaria en materia de competencia. *Diario Oficial*, No. C372.
- Faull, J. & Nikpay, A. (1999). *The EC Law of Competition*. Nueva York: Oxford University Press.
- Geary, R. C. (1954). The contiguity ratio and statistical mapping. *The Incorporated Statistician*, 5 (3), 115-146.
- Getis, A. (2009). Spatial Weight Matrices. *Geographical Analysis*, 41 (1), 404-410.
- González Laxe, F. & Novo Corti, I. (2012). Competitividad de los puertos españoles: Respuestas del sistema portuario ante la crisis económica. *XIV Reunión de Economía Mundial*.
- Gunaratna, N., Liu, Y. & Park, J. (2013). *Spatial Autocorrelation*. Purdue University Department of Statistics.
- Haining, R. (2003). *Spatial Data Analysis: theory and practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hall, M. & Tideman, N. (1967). Measures of concentration. *Journal of the American Statistical*, 62, 162-168.
- Hannah, L. & Kay, J. (1977). *Concentration in Modern Industry: Theory, Measurement*

and the UK experience. London: MacMillan.

- Hubert, L.J., Golledge, R. G. & Costanzo, C. M. (1981). Generalized Procedures for Evaluating Spatial Autocorrelation. *Geographical Analysis*, 13 (3), 224-233.
- Lee, T., Yeo, G. T. & Thai, V. V. (2014). Changing concentration ratios and geographical patterns of bulk ports: the case of the Korean west coast. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 30 (2), 155-173.
- Lijesen, M. G. (2004). Adjusting the Herfindahl index for close substitutes: an application to pricing in civil aviation. Transportation Research Part E: *Logistics and Transportation Review*, 40 (2), 123-134.
- Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37 (1/2), 17-23.
- Notteboom, T. E. (2006). Traffic inequality in seaport systems revisited. *Journal of Transport Geography*, 14 (2), 95-108.
- Sanz Berzal, B. & Ramos Gallarín, A. (2013). *Barómetro de Economía de la ciudad de Madrid*. Observatorio Económico Ayto. Madrid, 36, 2º trimestre. Madrid.
- Tobler W (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46 (2), 234-240.
- Wang, T. F. & Cullinane, K. P. B. (2004). Industrial Concentration in Container Ports. *International Association of Maritime Economists Annual Conference, Izmir*, Vol. 30.

7. Apéndice

Tabla A1. Índice de entropía relativa. **Fuente:** Elaboración propia a partir de los datos de AENA.

grupo	aeropuerto	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	promedio
I	Alicante	0.747	0.791	0.761	0.757	0.728	0.711	0.669	0.656	0.688	0.703	0.737	0.715	0.722
I	Bilbao	0.708	0.779	0.724	0.714	0.790	0.792	0.835	0.782	0.751	0.675	0.689	0.693	0.744
I	Girona	0.081	0.079	0.079	0.133	0.111	0.047	0.061	0.109	0.131	0.140	0.159	0.163	0.108
I	Ibiza	0.729	0.711	0.728	0.748	0.721	0.752	0.713	0.703	0.673	0.666	0.652	0.668	0.705
I	Málaga	0.738	0.754	0.744	0.739	0.744	0.749	0.720	0.665	0.671	0.689	0.720	0.718	0.721
I	Menorca	0.727	0.695	0.767	0.773	0.729	0.721	0.687	0.721	0.683	0.643	0.669	0.653	0.706
I	Sevilla	0.539	0.608	0.685	0.625	0.695	0.739	0.631	0.590	0.544	0.629	0.571	0.595	0.621
I	Valencia	0.715	0.728	0.662	0.641	0.659	0.694	0.644	0.614	0.621	0.620	0.733	0.680	0.668
2	A Coruña	0.104	0.484	0.385	0.604	0.637	0.752	0.579	0.741	0.542	0.552	0.730	0.707	0.568
2	Almería	0.743	0.720	0.724	0.764	0.766	0.721	0.599	0.633	0.665	0.733	0.822	0.759	0.721
2	Asturias	0.532	0.614	0.597	0.679	0.757	0.801	0.849	0.804	0.748	0.770	0.708	0.686	0.712
2	Granada	0.470	0.678	0.719	0.733	0.834	0.722	0.698	0.770	0.624	0.631	0.652	0.681	0.684
2	Jerez	0.591	0.681	0.676	0.728	0.719	0.711	0.717	0.623	0.726	0.732	0.760	0.817	0.707
2	Murcia	0.697	0.690	0.676	0.681	0.701	0.723	0.682	0.675	0.712	0.646	0.693	0.675	0.688
2	Reus	0.179	0.311	0.144	0.056	0.025	0.069	0.091	0.095	0.126	0.173	0.262	0.402	0.161
2	Santiago	0.499	0.579	0.632	0.689	0.715	0.647	0.707	0.605	0.636	0.609	0.638	0.607	0.630
2	Santander	0.743	1.000	0.623	0.426	0.430	0.933	0.871	0.359	0.345	0.325	0.439	0.467	0.580
2	Vigo	0.476	0.722	0.642	0.687	0.706	0.824	0.798	0.781	0.745	0.728	0.670	0.615	0.699
2	Zaragoza	0.553	0.489	0.515	0.539	0.579	0.460	0.594	0.393	0.528	0.475	0.599	0.610	0.528
3	Albacete		0.890	0.782	0.585	0.844	0.718	0.541	0.498	0.626				0.686
3	Badajoz	0.785	0.416	0.450	0.379	0.482	0.326		0.001	0.345	0.518	0.029		0.373
3	León	0.990	0.983	0.986	0.643	0.721	0.492	0.620	0.546	0.514	0.418		0.272	0.653
3	Logroño	0.079	0.002	0.547	0.464	0.322	0.210			0.343				0.281
3	Pamplona	0.431	0.474	0.551	0.548	0.598	0.482	0.542	0.270	0.227	0.335	0.153	0.051	0.388
3	Salamanca	0.808	0.667	0.845	0.785	0.928	0.784	0.820	0.654	0.503	0.572	0.563	0.857	0.732
3	San Sebastián	0.922	0.922	0.527	0.794	0.811	0.594	0.368	0.186	0.307	0.375	0.605	0.931	0.612
3	Valladolid	0.529	0.583	0.506	0.533	0.563	0.518	0.668	0.445	0.419	0.531	0.713	0.607	0.551
3	Vitoria	0.291	0.278	0.567	0.473	0.213	0.002	0.254		0.953		0.739		0.419
c	El Hierro					0.316		0.988	0.785	0.664	0.652	0.735	0.708	0.693
c	Fuerteventura	0.687	0.647	0.669	0.703	0.687	0.704	0.750	0.741	0.701	0.716	0.768	0.759	0.711
c	Gran Canaria	0.620	0.631	0.606	0.603	0.685	0.729	0.745	0.759	0.738	0.771	0.764	0.769	0.702
c	La Palma	0.588	0.524	0.604	0.521	0.650	0.672	0.694	0.722	0.737	0.626	0.700	0.732	0.647
c	Lanzarote	0.672	0.662	0.671	0.706	0.761	0.763	0.756	0.747	0.742	0.747	0.734	0.753	0.726
c	Tenerife Norte	0.597	0.605	0.607	0.626	0.683	0.671	0.701	0.639	0.698	0.570	0.592	0.678	0.639
c	Tenerife Sur	0.742	0.715	0.765	0.800	0.776	0.780	0.738	0.694	0.699	0.696	0.715	0.693	0.734
B	Barcelona	0.561	0.576	0.599	0.632	0.653	0.684	0.658	0.654	0.636	0.620	0.619	0.603	0.625
M	Madrid	0.471	0.495	0.494	0.509	0.524	0.543	0.544	0.575	0.598	0.632	0.637	0.625	0.554
P	Palma Mallorca	0.631	0.626	0.626	0.600	0.592	0.619	0.591	0.644	0.610	0.630	0.650	0.657	0.623

Tabla A2. Índice de volatilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AENA.

grupo	aeropuerto	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	14/15	14/15	promedio
I	Alicante	0.116	0.102	0.115	0.174	0.144	0.111	0.092	0.176	0.087	0.068	0.055	0.113
I	Bilbao	0.146	0.055	0.087	0.155	0.131	0.148	0.075	0.207	0.137	0.060	0.060	0.115
I	Girona	0.004	0.007	0.038	0.019	0.035	0.006	0.028	0.009	0.011	0.019	0.021	0.018
I	Ibiza	0.100	0.075	0.168	0.157	0.158	0.127	0.150	0.150	0.062	0.037	0.064	0.113
I	Málaga	0.100	0.107	0.162	0.132	0.150	0.138	0.097	0.099	0.061	0.061	0.043	0.105
I	Menorca	0.091	0.130	0.153	0.194	0.114	0.117	0.108	0.268	0.105	0.083	0.076	0.131
I	Sevilla	0.187	0.120	0.237	0.099	0.185	0.136	0.213	0.131	0.085	0.066	0.043	0.136
I	Valencia	0.239	0.113	0.301	0.130	0.114	0.133	0.163	0.060	0.069	0.060	0.066	0.132
2	A Coruña	0.263	0.025	0.307	0.078	0.162	0.167	0.012	0.290	0.241	0.098	0.022	0.151
2	Almería	0.429	0.167	0.173	0.126	0.158	0.166	0.068	0.097	0.184	0.086	0.149	0.164
2	Asturias	0.086	0.046	0.166	0.160	0.152	0.161	0.095	0.334	0.198	0.179	0.089	0.151
2	Granada	0.280	0.124	0.221	0.156	0.107	0.216	0.191	0.430	0.234	0.032	0.050	0.185
2	Jerez	0.128	0.068	0.217	0.096	0.095	0.146	0.179	0.153	0.327	0.238	0.071	0.156
2	Murcia	0.157	0.197	0.262	0.112	0.057	0.112	0.060	0.083	0.052	0.033	0.041	0.106
2	Reus	0.062	0.064	0.026	0.016	0.016	0.012	0.001	0.028	0.032	0.094	0.102	0.041
2	Santiago	0.123	0.169	0.212	0.054	0.121	0.094	0.175	0.209	0.119	0.078	0.054	0.128
2	Santander	0.279	0.060	0.016	0.130	0.108	0.057	0.095	0.045	0.022	0.074	0.032	0.083
2	Vigo	0.093	0.120	0.238	0.063	0.132	0.083	0.045	0.135	0.061	0.049	0.038	0.096
2	Zaragoza	0.592	0.081	0.295	0.133	0.071	0.064	0.171	0.087	0.093	0.024	0.047	0.151
3	Albacete	0.307	0.075	0.059	0.206	0.097	0.159	0.015	0.891				0.226
3	Badajoz	0.183	0.079	0.002	0.008	0.044	0.060	0.000	0.884	0.881	0.116	0.005	0.206
3	León	0.017	0.007	0.535	0.122	0.376	0.047	0.028	0.164	0.243	0.286	0.047	0.170
3	Logroño	0.019	0.126	0.071	0.071	0.052	0.061	0.000	0.124	0.124	0.000	0.000	0.059
3	Pamplona	0.024	0.022	0.153	0.080	0.109	0.094	0.292	0.061	0.139	0.104	0.031	0.101
3	Salamanca	0.355	0.616	0.580	0.275	0.460	0.022	0.087	0.057	0.024	0.003	0.149	0.239
3	San Sebastián	0.000	0.061	0.113	0.040	0.109	0.083	0.224	0.170	0.202	0.002	0.021	0.093
3	Valladolid	0.096	0.068	0.411	0.088	0.169	0.060	0.128	0.050	0.177	0.065	0.083	0.127
3	Vitoria	0.027	0.688	0.307	0.699	0.051	0.042	0.043	1.000	0.373	1.000	0.927	0.469
c	El Hierro	0.000	0.000	0.000	0.057	0.057	0.565	0.060	0.294	0.228	0.064	0.090	0.129
c	Fuerteventura	0.061	0.052	0.095	0.116	0.127	0.243	0.245	0.151	0.126	0.116	0.091	0.129
c	Gran Canaria	0.061	0.053	0.046	0.149	0.151	0.160	0.144	0.173	0.160	0.070	0.076	0.113
c	La Palma	0.052	0.037	0.042	0.167	0.094	0.201	0.058	0.293	0.244	0.104	0.106	0.127
c	Lanzarote	0.076	0.062	0.096	0.181	0.251	0.234	0.183	0.148	0.120	0.094	0.062	0.137
c	Tenerife Norte	0.048	0.043	0.047	0.089	0.062	0.035	0.039	0.125	0.120	0.028	0.050	0.062
c	Tenerife Sur	0.125	0.082	0.116	0.178	0.133	0.150	0.160	0.056	0.077	0.110	0.055	0.113
B	Barcelona	0.088	0.079	0.163	0.143	0.150	0.146	0.102	0.166	0.087	0.047	0.038	0.110
M	Madrid	0.047	0.053	0.083	0.052	0.060	0.064	0.073	0.110	0.116	0.041	0.041	0.067
P	Palma Mallorca	0.086	0.053	0.087	0.097	0.065	0.085	0.214	0.185	0.055	0.060	0.052	0.094

Tabla A3. Índices de autocorrelación espacial anuales.

	Inversa		Binaria		inversa ²		<150km		<300km	
	I Moran	C Geary	I Moran	C Geary	I Moran	C Geary	I Moran	C Geary	I Moran	C Geary
2004	-0.029	1.008	0.01	0.526	-0.042	0.953	-0.039	0.587*	-0.052	0.946
	(0.481)	(0.444)	(0.397)	(0.160)	(0.423)	(0.345)	(0.465)	(0.056)	(0.376)	(0.305)
2005	-0.026	1.006	0.020	0.532	-0.038	0.951	-0.031	0.591*	-0.046	0.942
	(0.489)	(0.460)	(0.371)	(0.160)	(0.445)	(0.339)	(0.489)	(0.057)	(0.407)	(0.292)
2006	-0.026	1.006	0.016	0.545	-0.038	0.953	-0.033	0.599*	-0.045	0.944
	(0.489)	(0.460)	(0.384)	(0.167)	(0.444)	(0.343)	(0.484)	(0.060)	(0.409)	(0.296)
2007	-0.024	1.005	0.033	0.503	-0.033	0.943	-0.017	0.552**	-0.039	0.932
	(0.468)	(0.468)	(0.336)	(0.152)	(0.471)	(0.316)	(0.471)	(0.044)	(0.438)	(0.261)
2008	-0.023	1.003	0.052	0.447	-0.028	0.933	-0.004	0.514**	-0.035	0.922
	(0.448)	(0.480)	(0.286)	(0.129)	(0.496)	(0.287)	(0.431)	(0.033)	(0.459)	(0.230)
2009	-0.020	1.001	0.061	0.405	-0.022	0.923	0.011	0.479**	-0.032	0.913
	(0.423)	(0.495)	(0.262)	(0.115)	(0.473)	(0.259)	(0.387)	(0.026)	(0.475)	(0.206)
2010	-0.023	1.004	0.048	0.437	-0.028	0.930	0.002	0.492**	-0.036	0.919
	(0.452)	(0.476)	(0.295)	(0.127)	(0.497)	(0.279)	(0.412)	(0.028)	(0.451)	(0.224)
2011	-0.026	1.006	0.002	0.586	-0.039	0.958	-0.034	0.624*	-0.045	0.949
	(0.488)	(0.459)	(0.420)	(0.186)	(0.439)	(0.361)	(0.480)	(0.071)	(0.411)	(0.313)
2012	-0.025	1.004	-0.008	0.673	-0.040	0.972	-0.045	0.716	-0.042	0.962
	(0.477)	(0.471)	(0.450)	(0.231)	(0.439)	(0.404)	(0.448)	(0.127)	(0.430)	(0.358)
2013	-0.021	0.999	-0.012	0.778	-0.035	0.984	-0.050	0.827	-0.033	0.974
	(0.432)	(0.490)	(0.462)	(0.297)	(0.463)	(0.443)	(0.438)	(0.234)	(0.473)	(0.400)
2014	-0.024	1.002	-0.032	0.815	-0.043	0.993	-0.064	0.846	-0.041	0.984
	(0.468)	(0.483)	(0.487)	(0.329)	(0.427)	(0.477)	(0.399)	(0.260)	(0.433)	(0.440)
2015	-0.027	1.006	-0.042	0.791	-0.048	0.993	-0.071	0.810	-0.048	0.983
	(0.500)	(0.458)	(0.461)	(0.313)	(0.399)	(0.475)	(0.381)	(0.217)	(0.401)	(0.435)
Promedio 2004-2015	-0.024	1.004	0.015	0.584	-0.036	0.957	-0.03	0.635*	-0.041	0.947
	(0.470)	(0.473)	(0.388)	(0.183)	(0.458)	(0.355)	(0.492)	(0.075)	(0.432)	(0.308)

Notas: P-valores entre paréntesis debajo de los coeficientes. *, ** y *** denotan significatividad al 10 % 5 % y 1 %, respectivamente. La hipótesis nula en ambos test es H₀: Independencia espacial. El test de Moran varía entre -1 y 1 donde 0 indica independencia espacial. Valores mayores que 0 indican correlación espacial positiva. El test de Geary oscila valores entre 0 y 2. El valor 1 indica independencia espacial mientras que valores inferiores a 1 sugieren correlación positiva



Facultad
de Ciencias
Económicas y
Empresariales

Departamento
de Economía
Aplicada y
Estadística



**Revista de Evaluación de
Programas y Políticas Públicas**
JOURNAL OF PUBLIC PROGRAMS AND POLICY EVALUATION

VARIABLES ECONÓMICAS Y TRÁFICO AEROPORTUARIO

Economic variables and airport traffic

Núm. 9 (2017), pp. 74-98

Salazar de la Cruz, Francisco de Paula*

Recibido: **octubre, 2017**

Aceptado: **diciembre, 2017**

JEL Clasif: D22; L93

DOI: [10.5944/reppp.9.2017.20090](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.20090)

* FRANCISCO DE PAULA SALAZAR DE LA CRUZ: TecnoCampus Mataró / U Pompeu Fabra. E-mail: fsalazard@tecnocampus.cat

Resumen

Se han considerado los datos de la década 1999-2009 de los aeropuertos británicos de acuerdo con los informes económicos por ejercicio publicados por The UK airport statistics, Centre for Research in Regulation, U. of Bath. Para el conjunto de datos se han examinado las variables económicas coste, ingresos y beneficios por pasajeros. También se ha considerado la rentabilidad sobre la inversión. Todas estas variables se han presentado como función del número total de pasajeros. Se han establecido las pautas de variación de los costes e ingresos medios dependiendo del tráfico manejado por cada aeropuerto. Igualmente se ha procedido con respecto a los beneficios unitarios y rentabilidad sobre la inversión. El artículo finaliza con algunas consideraciones sobre la conveniencia de animar la expansión aeroportuaria en el segmento de aeropuertos de bajo tráfico.

Palabras clave: Coste medio; ingreso medio; beneficio medio; rentabilidad sobre activos; aeropuerto

Abstract

Data from the 1999-2009 decade of British airports have been considered in accordance with the economic reports per fiscal year published by The UK airport statistics, Centre for Research in Regulation, U. of Bath. For the data set we have examined the economic variables cost, revenue and profit per passenger. The return on investment has also been considered. All these variables have been shown as a function of the total number of passengers. The patterns of variation of costs and average incomes have been explained depending on the traffic handled by each airport. Equally, we have proceeded with respect to unitary profit and return on investment. The article concludes with some considerations on the desirability of encouraging airport expansion in the segment of low-traffic airports.

Key Words: Airport; average cost; average revenue; average profit; return on investment

1. Introducción

1.1 Cultura de gestión y sector aeroportuario

La gestión aeroportuaria, desde una perspectiva económica, se apoya en modelos similares a los utilizados en cualquier otro tipo de actividad, p.e.: edificación, comercio alimenticio, etc. Sin embargo, el énfasis en cada una de las técnicas en los diversos sectores es diferente. Ello contribuye a delinear en cada sector una cultura —entendida como «lo que se hace» en el sector— que es característica del mismo. En ella se fijan las técnicas de éxito y las percepciones relevantes. También las creencias generalizadas y líneas de razonamiento discursivo habituales. Y esto último conforma el modelo subyacente, memoria colectiva del sector y su especificidad. En el sector aeroportuario, y en lo referente a su gestión, esta cultura existe. En estas páginas se expondrán los modelos subyacentes aludidos y sus fundamentos.

La gestión económica que aquí se considera se parcela, convencionalmente, para su análisis. Se considerarán diversas áreas como: ingresos, costes, beneficios, precios, adquisición de insumos externos, inversiones, financiación y otras que contribuyan al cementado necesario para dar coherencia a las distintas islas, p.e.: control de gestión. Algunas tienen menor contenido específico que otras, p.e.: financiación, por lo que no se incluyen. Otras requieren un espacio que solo es posible en entregas especializadas, p.e.: precios o tarifas. En esta entrega el análisis se limitará a las tres primeras.

1.2 A modo de programa

Desde esta perspectiva cultural, en estas páginas nos internaremos en las características de los costes, ingresos y rentabilidad resultantes en condiciones y aeropuertos reales. Aunque el enfoque es empírico, la mirada se amplía al considerar las variables inductoras o tractoras, coincidentes con tales resultados. Todo ello con una metodología lo suficientemente simple como para no perder de vista el fin cultural del esfuerzo, de forma que pensar en aeropuertos y su economía se haga desde niveles básicos y fácilmente comprensibles.

Al final, a modo de conclusiones, se proponen algunas que se desprenden del cuerpo del artículo. Se tiene para ello en cuenta que los aeropuertos forman hoy día parte de las preocupaciones y campañas administrativas, institucionales y, sobre todo, políticas. El enfoque adoptado pretende que pueda ser útil a quienes desde lo público o lo institucional elaboran y presentan opiniones sobre el sector aeroportuario, cuando no sobre el aeropuerto local que les afecta. Y especialmente en los casos en que se pretenda tomar decisiones propias o, más frecuentemente, influir en las de otros.

1.3 Información disponible

Para recorrer el camino propuesto se requiere información sobre las actividades productivas y su medición económica. En este aspecto, el sector aeroportuario resulta poco transparente. Disponer de datos para algunos análisis, incluso poco «comprometedores» para las organizaciones aeroportuarias, es difícil. Si se examinan las ortodoxas cuentas anuales de Aena, se constata que no hay información —PyG, Balance, Memoria Social Corporativa— desglosada por aeropuerto. Algunas cifras vienen descompuestas por las

actividades productivas —aeronáuticas, comerciales, etc.— un paso que facilita ciertos análisis. Sin embargo, la entidad entera que se representa en los resultados globales de Aena, no representa un aeropuerto que sea real, con tráfico doble del mayor del mundo. Ni tampoco a cuarenta y tantos aeropuertos medios de cinco millones de pasajeros anuales. Simplemente, no permite hacerse una idea de cómo marcha cada uno de ellos.

El nuevo mecanismo denominado Documento de Regulación Aeroportuaria, «DORA»¹ consagra el principio, entre otras cosas, de una revisión interanual de precios en base a un porcentaje común a todos los aeropuertos. Si bien el «DORA» prevé unos ajustes en aeropuertos individuales, queda por ver los fundamentos de los ajustes que hasta ahora no han sido explorados en la práctica. La realidad se ha decantado por una congelación de tarifas y alguna disminución a instancias de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). La petición del sector, de 2,59 % de reducción anual y del 2,02 % por parte de la CNMC, entre 2017 y 2021, muestra a las claras que lo que menos se piensa es en la aplicación de la mecánica prevista en «DORA».

El caso de Aena, una institución de indudable éxito si miramos resultados y capitalización en bolsa, muestra ese parco nivel de transparencia actual. Otras muchas organizaciones tienen, o tuvieron, prácticas similares. En este panorama destaca el efímero destello, por parte de Aena, que se produce con la publicación, en noviembre de 2013, del documento: «Revisando la taxonomía de los aeropuertos españoles». El trabajo, de excelente factura y encomiable intención, fue realizado por la Fundación de Estudios de Economía Aplicada (FEDEA) y los investigadores de la U. de Las Palmas de Gran Canaria, desde el Observatorio de Transporte Aéreo de la Cátedra Fedea-Abertis (FEDEA y U. Las Palmas de Gran Canaria, 2013). En el citado documento —además de las conclusiones propias del objeto del mismo— se presentan resultados económicos y financieros detallados para 47 aeropuertos y dos helipuertos, del período 2009-2012. En algún caso nos referiremos a los mismos como Conjunto de Datos 1 o abreviadamente CD1. El futuro mostrará si esta ventana de transparencia tiene una deseable continuidad.

Conseguir otro conjunto de datos del mismo nivel de detalle no es fácil. Aunque siempre puede organizarse una búsqueda exhaustiva en internet, costosa y de fiabilidad comprometida, sobre aeropuertos individuales. La dificultad radica ahora en la posible multiplicidad de prácticas contables, criterios de gestión o paridad de monedas, lo que en el caso del CD1 se eliminaba.

Con una cierta antigüedad, pero con la consistencia de su origen, se dispone de un conjunto de datos, que señalaremos como CD2. En este caso el período es de una década, 1999-2009, y los aeropuertos son todos los del Reino Unido. El conjunto de datos se elaboró por el Center for the Study of Regulated Industries de la Universidad de Bath. Las publicaciones, *The UK airport statistics* (Condie et al., varios años; Cruishank et al., varios años; Flanagan et al., 2007; Sharp et al., 2010), recogen datos del mismo nivel de detalle que el mostrado por el CD1. Utilizaremos los datos del CD2 por su mayor recorrido y eventualmente los de CD1 para algún contraste, deflactados a valores del año 2000.

¹ El método y documento DORA se establecen en la ley 1/2011. Programa Estatal de Seguridad Operacional para la Aviación Civil, modificándose la L-21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea. BOE 55 de 05.03.2011.

Los informes anuales de la consultora Leigh Fisher (2015), *Airport Performances*, de UK, tienen una larga tradición en el sector, y su nivel de detalle es satisfactorio. En sus trabajos anuales, la selección de aeropuertos apunta a los de mayor tráfico, a los principales de algunos países y a varias organizaciones multiaeroportuarias de importancia. Pero no resulta equilibrada en cuanto a la inclusión de aeropuertos de menores tráficos. Por esta razón no se ha considerado aquí su utilización. Por su parte los CD1 y CD2 presentan la gama completa de aeropuertos, de los de menor a los de mayor tráfico, en ambos países, lo que permite juzgar el efecto del tamaño cuando lo hay, evitar problemas de cambio de moneda en cada conjunto y garantizar condiciones fiscales y prácticas contables homogéneas.

En todo el documento se han reflejado las variables observadas —costes, ingresos, beneficios— como función del tráfico, incluso partiendo de un registro por ejercicio fiscal. Para los costes se ha utilizado el valor en moneda local del año 2000 por pasajero, £(2000)/pax, o prescindiendo del año, £/pax, por cuestiones de espacio. Con tal fin, se ha empleado el deflactor anual del PIB promedio de los dos años naturales a lo largo de los cuales se extiende normalmente el ejercicio fiscal en UK. Los tráficos se miden siempre en millones de pasajeros por año, abreviadamente Mppa. Todos los gráficos, aunque de elaboración propia (e.p.), se refieren a los datos obtenidos de los conjuntos de datos señalados y que se citan como elaboración propia (e.p.) de CD1 o CD2.

2. Costes

2.1 Costes característicos

Los costes medios de producción de los servicios aeroportuarios son un indicador robusto de la eficiencia productiva. Como es común en las infraestructuras, el coste de referencia para el cálculo del coste medio es el coste total anual, al que se le supone gran inercia al cambio. La partida más importante, los servicios y suministros externos suelen estar casi fijados por los contratos plurianuales propios de las organizaciones explotadoras, incluso no siendo puramente públicas. Igualmente estamos ante organizaciones poco dadas a la optimización de plantillas de forma continua y donde las inversiones resultan irreversibles y significativas, por encima del 30 % del coste operativo. (Salazar de la Cruz, 2003).

Ambas situaciones cambian drásticamente cuando el cambio es estructural, p.e.: disminución del 8 % de plantilla en el ERE de Aena en 2013. En esa misma época se introduce un recorte en los precios de los servicios externos, del orden del 20 %, quedando por saber si ello fue posible a una disminución de márgenes excesivos por parte de los suministradores o por una merma en la cantidad y calidad de los servicios suministrados, p.e., mantenimientos, seguridad privada, limpieza, etc.

En cuanto a los incrementos de activo fijo depende del tipo de infraestructura del que se trate. Si el caso es el de un puente sencillo, bien construido y mantenido, la capacidad está predeterminada y la inversión no debe requerir posteriores incrementos. Y para las «grandes reparaciones» se supone que pueden repartirse como inversiones o eventualmente como gastos diferidos. En el caso de un aeropuerto viable, la experiencia muestra que ha venido atendiendo, y se espera que continúe en el futuro, a un tráfico en crecimiento secular. Las inversiones aeroportuarias suponen normalmente una

sobrecapacidad el día de corte de la cinta, dado que se planea cubrir tráficos del presente y el futuro. Sin embargo, las inversiones pueden continuarse con otras que no afectan a la capacidad, p.e.: nuevos sistemas de vigilancia. En otras ocasiones es la capacidad de gestión técnica de la organización, o las limitaciones financieras, las que aconsejan retrasar la realización de inversiones no imprescindibles para obtener capacidad. Y no debe descartarse que las tasas de crecimiento de tráfico hagan que ciertos elementos deban estar en procesos de crecimiento continuo, p.e. nuevos aparcamientos al ritmo del crecimiento del tráfico y la demanda que genera.

Todos los factores anteriores hacen que el coste total no sea tan rígido como podría suponerse. Ello no evita tener que revisar dicha rigidez en relación con el tamaño del aeropuerto o de su capacidad remanente.

2.2 Coste y tamaño en el sector

Para el conjunto de datos CD2, 33 aeropuertos de Reino Unido (UK) durante la década 1999-2009, la nube de puntos que representan el coste por pasajero, para cada año y aeropuerto, se muestra en la figura 1. Algunos aeropuertos, de muy bajo tráfico, en Mppa, presentan coste medio superior al máximo del eje, por lo que han sido considerados marginales, por lo que la muestra se reduce a 26 aeropuertos.

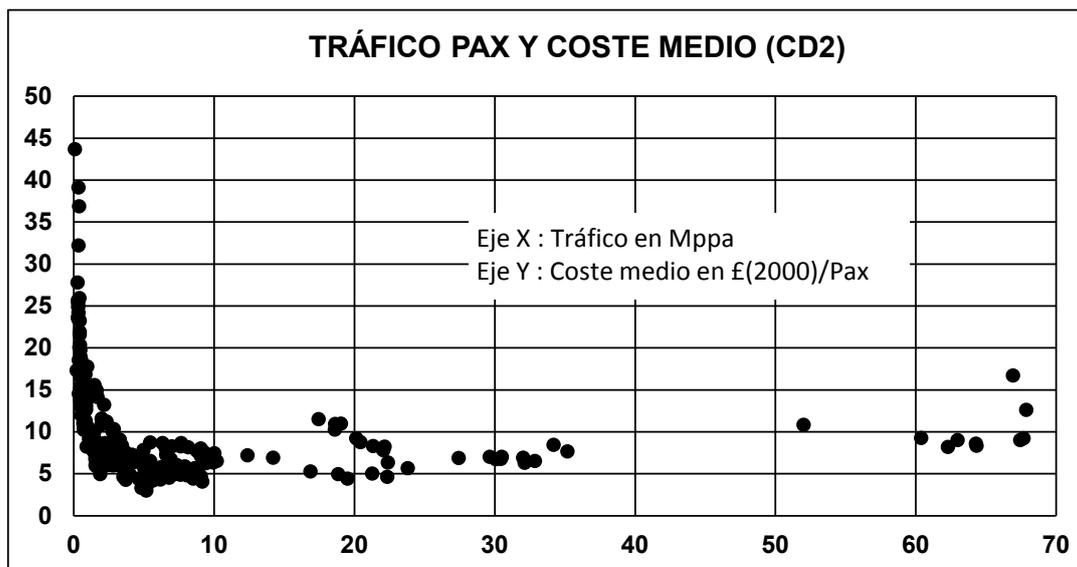


Figura 1. Variación del coste medio con el tráfico anual. Fuente: e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

No es preciso recurrir a ejercicios de correlaciones para advertir un comportamiento característico. Esta forma de «ola» contra eje izquierdo no difiere de la encontrada para el CD1, Aena 2009-2011, véase figura 2, donde también se han filtrado aeródromos, helipuertos y aeropuertos con tráficos ínfimos y costes medios astronómicos.

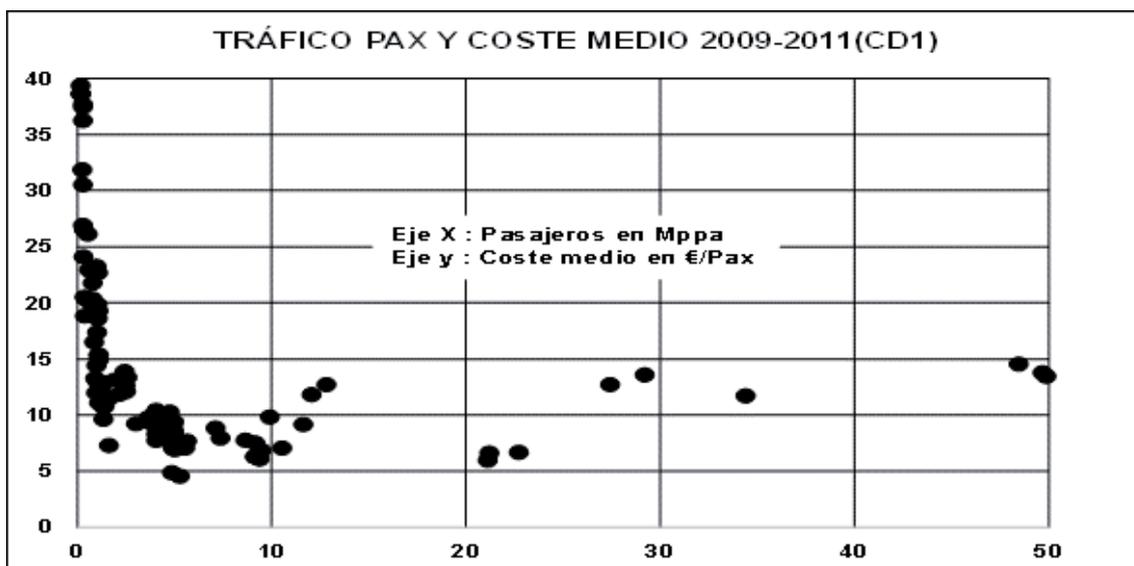


Figura 2. Variación del coste medio con el tráfico anual. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CDI / Fedea.

La enorme semejanza entre ambas nubes permite avanzar razonablemente algunas inferencias, prescindiendo de los valores particulares de cada caso y en tanto no sean falsadas, como las que siguen. Por lo tanto, se puede inferir que, **para tráficos muy grandes, superiores a los 20 Mppa, los costes medios tienen una tendencia creciente (Inferencia n^o1).**

Los aeropuertos parecen más costosos, a partir de los 20 Mppa, cuanto mayor es su tamaño. Para soportar grandes tráficos, los aeropuertos deben expandirse. La ineficiencia que suponen las grandes extensiones – inversión, desplazamientos, energía - o las demandas externas de medidas de sostenibilidad, entre otras, podrían explicar esta tendencia.

Este comportamiento de la nube, la industria, no representa a ningún aeropuerto particular, ni tampoco puede decirse que sea la envolvente geométrica de costes medios de aeropuertos individuales, según veremos más adelante al considerar las variaciones individuales. Evidentemente, es posible trazar, con las técnicas habituales, una frontera inferior, de forma que el alejamiento de ella, para un tráfico dado, revele una ineficiencia. Sin embargo, la información disponible no permitiría distinguir la contribución negativa del posible exceso de capacidad, el excesivo coste de sus instalaciones – aeropuertos chapados en oro o «golden plated airports» - o la ineficiencia de su gestión.

Entre 10 y 20 Mppa, los costes se mantienen dentro de una banda ancha, relativamente estable, sin apreciables mejoras de coste con los tráficos del CD2, como puede observarse en la figura 3. El conjunto de datos CD2 en esta banda de tráficos es poco numeroso.

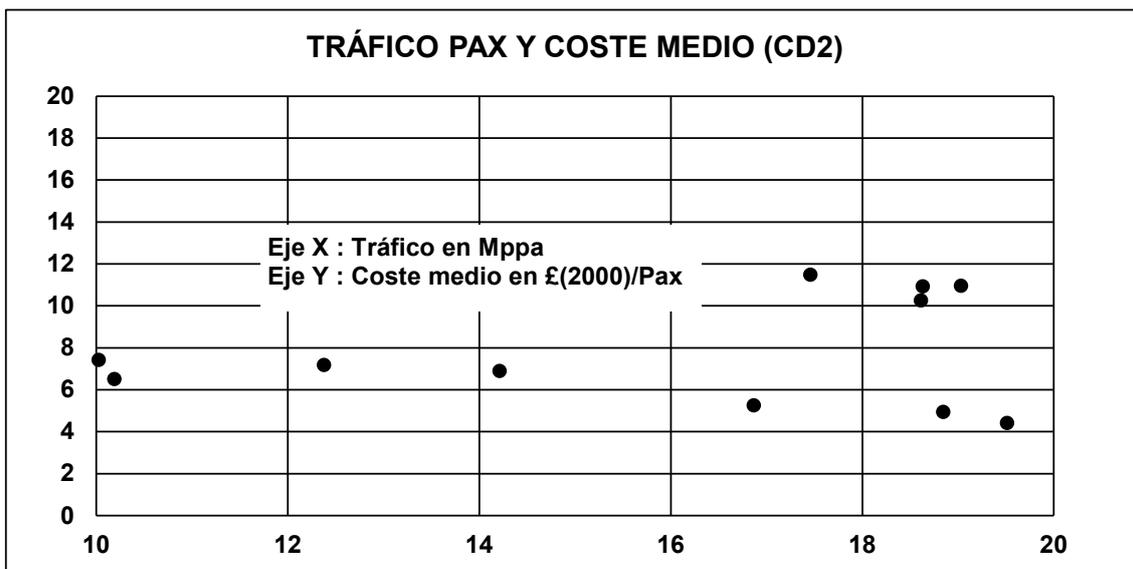


Figura 3. Variación del coste medio con el tráfico anual (10-20 Mppa). Fuente: e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

Así pues, se puede inferir que, **para tráficos en la banda entre 10 y 20 Mppa, los costes medios oscilan alrededor de un eje central y con menor dispersión que la mostrada por aeropuertos menores (Inferencia n^o2).**

La mirada puede moverse ahora hasta los tráficos entre 5 y 10 Mppa, como se muestra en la figura 4, tanto para el conjunto de UK, el CD2, como para el más restringido CD1, de Aena. En ambos casos se encuentra que los costes se mantienen en una banda estable con ligera dispersión y sin apreciables mejoras de coste con los tráficos.

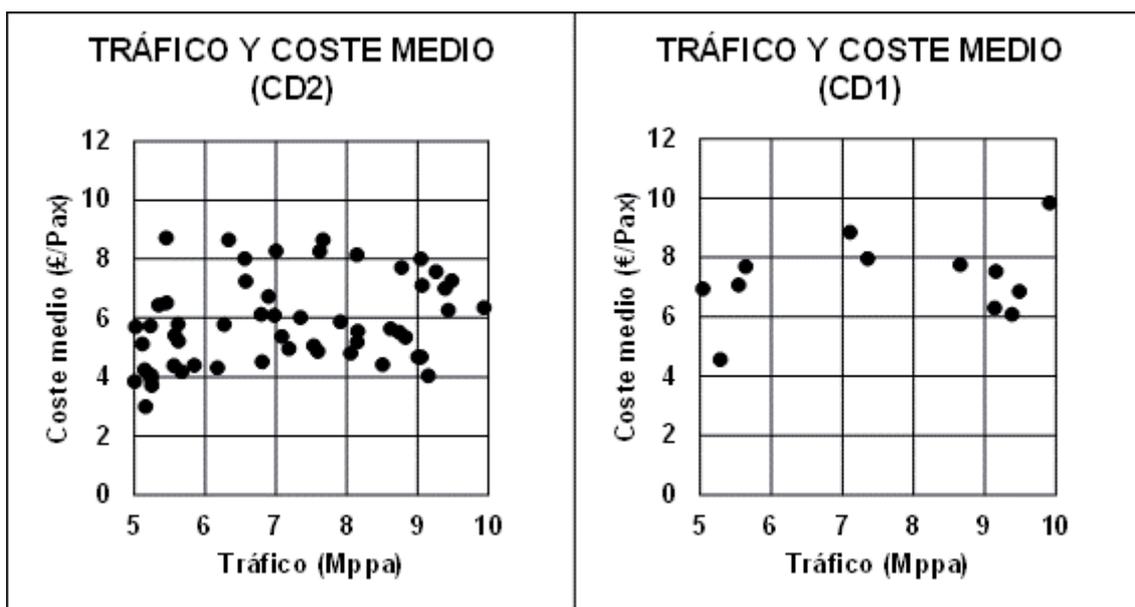


Figura 4. Variación del coste medio con el tráfico anual (5-10 Mppa). Fuente: e.p. del conjuntos de datos CD1 / Fedea y CD2 / U.Bath.

Como en el el caso anterior, la dispersión se debe a niveles diferentes de eficiencia, de uso de las instalaciones, de valor inicial de las construcciones o ampliaciones, etc. De ahí se infiere que, **para tráficos en la banda entre 5 y 10 Mppa, los costes medios oscilan alrededor de un eje central y con menor dispersión que la mostrada por aeropuertos menores (Inferencia n°3).**

En cuanto a los aeropuertos de menor tráfico, la figura 5 recoge la distribución de puntos en el rango de 0 a 5 Mppa, para los conjuntos CD1 y CD2. La observación directa lleva a la inmediata conclusión de que el sector, en conjunto, obtiene grandes reducciones de costes medios cuanto mayores son los aeropuertos. Y esto se constata en ambos conjuntos de datos.

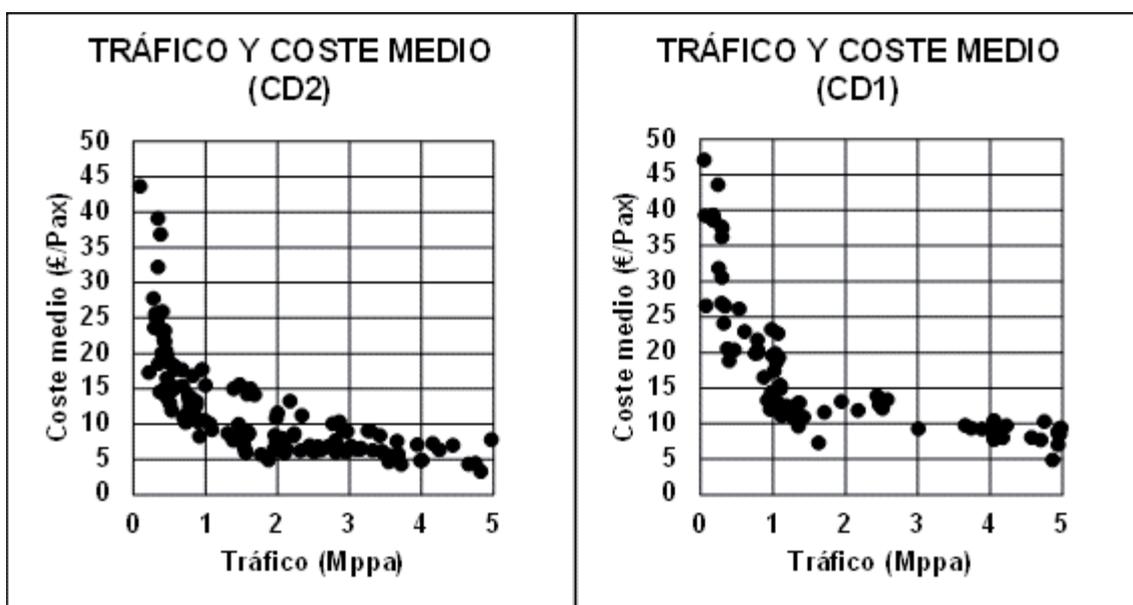


Figura 5. Variación del coste medio con el tráfico anual (0-5 Mppa). **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD1 / Fedea y CD2 / U.Bath.

Por ello inferimos que, **para tráficos en la banda entre 0 y 5 Mppa, los costes medios del conjunto de aeropuertos experimentan un marcado descenso, en proporción de hasta 8:1, con el volumen de tráfico manejado (inferencia n°4).**

Hasta aquí se ha visto la dependencia de costes y volumen de tráfico en los aeropuertos, desde la perspectiva del sector, sin atender a la evolución individual de los distintos aeropuertos reflejados.

2.3 Evolución de coste tráfico en aeropuertos

En lo anterior se ha visto el comportamiento de los costes medios en el sector. En las múltiples figuras se han presentado «puntos» que representaban a algún aeropuerto con el nivel de tráfico en algún año. Cualquier aeropuerto particular puede ser uno de esos puntos en un ejercicio. Con este propósito, otros han formulado fronteras de producción, coste mínimo para tráfico dado, p.e., mediante una frontera definida por la técnica de Data Envelopment Analysis (Salazar de la Cruz, 1999), de forma que la ineficiencia de un aeropuerto particular en un momento de tráfico concreto se determina en la medida que se aleja de dicha frontera. Pero de la forma general de la nube de puntos, o de una

de tales fronteras, no se puede inferir el comportamiento particular de un aeropuerto a corto plazo.

El mismo efecto del tráfico sobre el coste medio no puede ser juzgado si no se tiene en cuenta simultáneamente la evolución de otras acciones como variaciones significativas del resto de los costes. Pese a ello, es común oír invocaciones a las economías producidas en los costes corrientes, p.e., mediante la disminución del horario operativo y costes evitables asociados (energía, mantenimiento, personal, otros consumos, etc.). En otras ocasiones se señala el efecto de las nuevas inversiones, en dimensiones de capacidad y costes asociados no marginales y con los mismos efectos sobre las partidas de coste citadas en el caso anterior.

Ahora es el momento de entrar a observar los comportamientos individuales. A estos efectos se utilizará únicamente - en todas las figuras y análisis sobre las mismas que siguen en el resto del trabajo - el conjunto de datos británico, CD2, dada la mayor extensión temporal.

Conforme al juicio formado sobre la presencia de economías de escala, cabe esperar que el comportamiento de los costes medios sigan las pautas que se muestran en la figura 6.

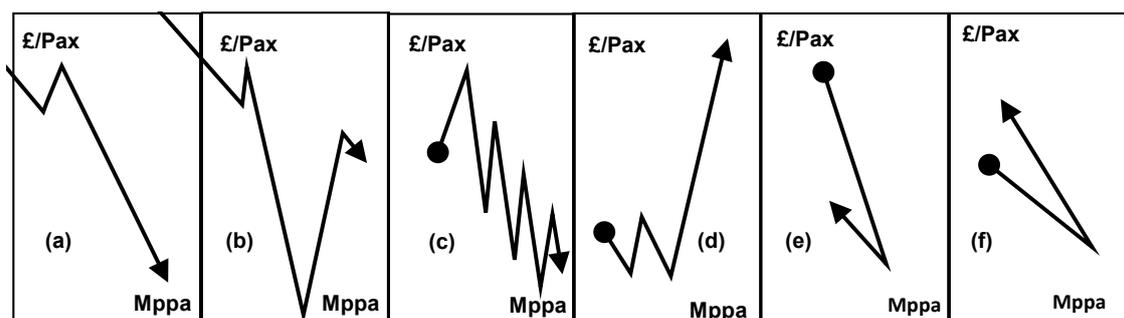


Figura 6. Pautas de variación del coste medio con el tráfico anual

En el caso de la figura 6 (a) se tiene que a tráficos crecientes corresponden costes medios menguantes. En la figura 6 (b), los costes serán decrecientes hasta que se realice una ampliación estructural que determina la rama creciente de la derecha. A la vista de la figura 6 (c) se está en presencia de una combinación sucesiva de mejoras de coste y aumentos substanciales por causas de ampliación de infraestructuras o costes de recurso corrientes demandados por estas. Igualmente, en la figura 6 (d), tras una pauta de estabilidad, se presenta un fuerte incremento de inversiones para ampliar la capacidad, ante perspectivas de demandas crecientes, o garantizarla en términos de calidad —p.e.: coordinación o retrasos— si se encuentra al límite de capacidad.

En los casos en que se presenta un descenso de tráfico, los costes medios deberían crecer en la misma medida en que decrecían con los aumentos. Lo más frecuente es que no suceda así. Si se adivina anticipadamente el descenso es posible maniobrar para que los costes totales disminuyan correlativamente, p.e., suspensión de determinados servicios, anulación de gastos prescindibles, etc. Más difícil es poder actuar cortando inversiones, abaratando su operación o mantenimiento, o redefiniendo calidad, cantidad y precio de los suministros externos. En general estos elementos de coste están ya contratados con anterioridad, con un tracto plurianual, que dificulta su reducción.

En la figura 6 (e) se presenta una situación en que se pueden reducir a tiempo algunos elementos de coste por debajo de la pauta en época de expansión. En la figura 6 (f), lo que se observa es un fenómeno de histéresis. Aquí, hay elementos de coste de marcada inelasticidad —típicamente inversiones y sus correlatos— innecesarios pero inevitables con el menor tráfico actual.

Todos estos comportamientos son observables en el conjunto de los 24 aeropuertos útiles para trabajo del CD2. En lo que sigue se explorará en la medida que esas pautas se repiten dentro de la muestra. Para ello se utilizan los diagramas de coste medio y tráfico de dichos aeropuertos. Obsérvese que en algunos casos, p.e.: tráficos descendentes continuados, la secuencia cronológica de los puntos va de derecha a izquierda. El criterio cronológico se indica con flechas coloreadas, en este caso apuntando hacia abajo.

La figura 7 muestra los casos de los aeropuertos de Norwich (NWI), Bristol (BRS) y Luton (LTN), siguiendo el patrón (a) de costes medios decrecientes. Además, el comportamiento se observa consistentemente —entremezclado con los otros— en 20 de 24 de los aeropuertos, suponiendo el 83,3 % de los casos.

La figura 8 presenta cursos de coste con un amplio historial de economías de escala, finalizado con un incremento notable de costes, véanse los casos de Exeter (EXT) y Stanted (STN). También en la misma figura se muestran Liverpool (LPL) y Birmingham (BHX) donde se reproduce la pauta (c) de mejoras y ampliaciones de coste alternados.

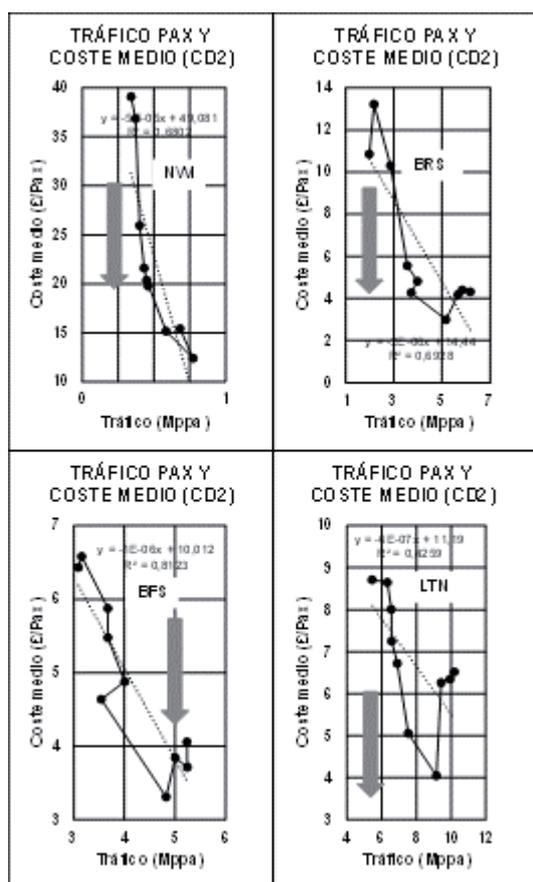


Figura 7. Variación del coste medio con anual creciente.

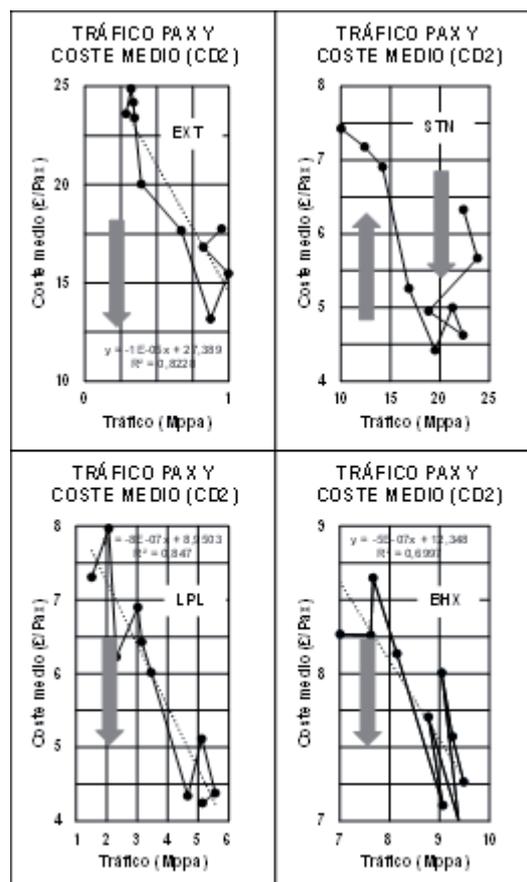


Figura 8. Descenso y crecimiento del tráfico coste medio con el tráfico anual.

Fuente: e.p. del conjunto de datos CD2 / U. Bath.

En algunos casos, los incrementos de coste medio, arrastrados mayormente por las inversiones, resultan la imagen dominante. En la figura 9 se ven casos extremos con tráficos modestos, como Humberside (HUY) y Durham Tees Valley (MME) o muy elevados, como Londres-Gatwick (LGW) y Londres Heathrow (LHR).

Finalmente la figura 10 recoge comportamientos más singularizados. Los casos de Glasgow (GLA) y Cardiff (CWL) presentan una pauta poco ordenada, mientras que los casos de Londres-City (LCY) y Manchester (MAN) presentan niveles de correlación altos, lo que no ocurre con frecuencia.

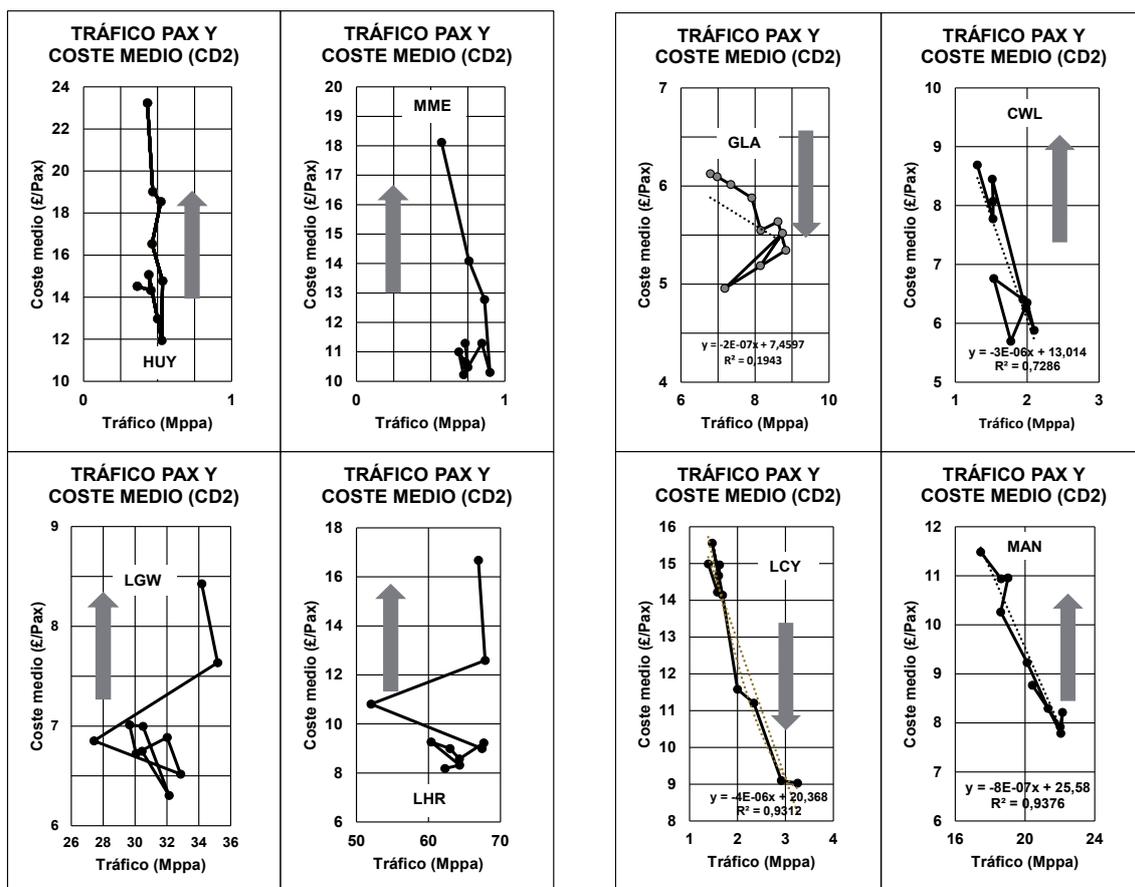


Figura 9. Variación del coste medio con el tráfico anual.

Figura 10. Variaciones singulares del coste medio con el tráfico anual.

Fuente: e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

La histéresis de coste, modo (f), puede observarse en la figura 10, aeropuerto de Cardiff (CWL), con caída de tráfico desde 2 a 1,5 Mppa y aumento de coste medio por encima del exhibido para tráficos equivalentes en volumen pero cronológicamente anteriores. También se observa una evolución similar en los de Edimburgo (EDI), Blackpool (BLK) o Newcastle (NCL), estos tres considerados pero no representados en las figuras anteriores.

En resumidas cuentas, los aeropuertos evolucionan en el tiempo incurriendo en unos costes medios que se mantienen dentro de la nube del sector, Figura 1, con trayectorias diversas.

Si los costes anuales se mantuvieran fijos, valor anual K, para un rango de tráficos alrededor de un valor Q, la pendiente del coste medio con el tráfico vendría dada por la expresión:

$$\partial CM/\partial Q = - K/Q^2$$

La primera consecuencia es que para un valor de K, constante a tramos, la curva de costes medios debería variar en la forma $1/Q^2$.

La inspección de las figuras permite descartar tal inferencia o, alternativamente, aceptarla para menos de la mitad de la muestra, por lo que parece más sensato mantener la primera alternativa. La razón debería buscarse en las causas por las cuales el supuesto coste fijo anterior es, en realidad, una función de la capacidad máxima disponible actualmente, calidad del servicio ofrecido o incluso la «largueza» con que los anteriores recursos se diseñan. Tales costes, es obvio, reclaman las correspondientes dotaciones de costes de personal, suministros externos o amortizaciones. Y no están relacionados – necesariamente – con la capacidad máxima disponible ni tampoco puede aceptarse que proceden de una función misteriosa, $K(Q)$.

En definitiva, en cada momento, $K(Q)$ viene a recoger los recursos necesarios para satisfacer las expectativas de futuro inmediato, de acuerdo con la disponibilidad de financiación y la credibilidad de los gestores aeroportuarios en cuanto su necesidad. Después, tales incorporaciones de costes pasarán a la categoría de «fijos» o «casi fijos».

Los aeropuertos pequeños, cuyo rango de variación de tráfico no supera los cinco millones anuales de pasajeros, confirman un marcado efecto de economía de escala, como ya se infería anteriormente. La tabla 1 muestra las pendientes de una primera aproximación rectilínea para los valores de coste medio de cada aeropuerto del conjunto CD2, excluyendo los tres señalados por sus valores atípicos en relación con los restantes. Para los aeropuertos de menor tráfico, las mejoras de coste medio con el incremento de tráfico son mayores, o notablemente mayores, que para los aeropuertos cuyos tráficos se extienden más allá del rango 0-5 Mppa señalado.

Tabla I. Variación en economía de escala. Fuente: e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

VARIACIÓN $\partial CM/\partial Q$		(CD2)		
aeropuerto	$-\partial CM/\partial Q$ (€/pax) / Mppa	rango de tráfico (Mppa)		
		inicio	fin	longitud
HUY	*	0,25	0,50	0,25
BLK	100	0,00	0,50	0,50
NWI	50	0,25	1,00	0,75
BOH	29	0,25	1,00	0,75
EXT	10	0,25	1,00	0,75
MME	10	0,50	1,00	0,50
SOU	6	0,50	2,00	1,50
LCY	4	1,00	3,00	2,00
CWL	3	1,00	2,00	1,00
LBA	2	0,50	3,00	2,50
BRS	2	1,00	7,00	6,00
EMA	1	2,00	6,00	4,00
NCL	1	2,00	6,00	4,00
BFS	1	3,00	6,00	3,00
MAN	0,8	16,00	24,00	8,00
EDI	0,7	5,00	10,00	5,00
LTN	0,6	4,00	12,00	8,00
ABZ	0,5	2,00	4,00	2,00
BHX	0,5	7,00	10,00	3,00
GLA	0,2	6,00	10,00	4,00
STN	0,2	10,00	25,00	15,00
LGW	*		26,00	36,00
LHR	*		50,00	70,00
(*) Valores atípicos				

Finalmente comentar los fenómenos de histéresis de costes. La figura 11 muestra tres casos - Exeter (EXT), Cardiff (CWL) y Manchester (MAN) - en mayor detalle. En las figuras se han colocado las etiquetas de los años de inicio (xx) y fin (yy) del ejercicio, Axxyy, correspondientes a cada punto (tráfico, coste medio). En el caso de Cardiff (CWL) la disminución de tráfico se acompaña con una reducción de coste, caso poco frecuente. Por el contrario las situaciones en EXT y MAN son de histéresis. En EXT la reducción de coste entre A0607 y A0708 no lleva el coste medio al nivel del tráfico en A0506 sino que lo aumenta notablemente. El caso de MAN es similar.

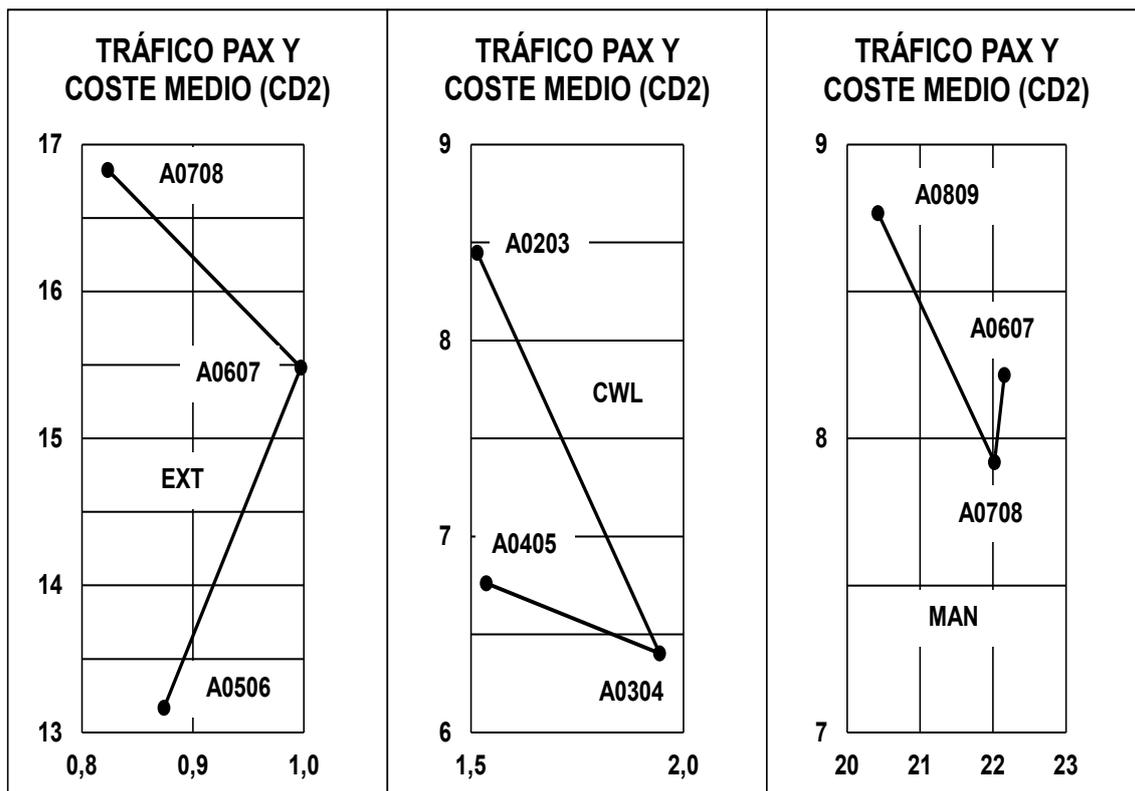


Figura 11. Variación del coste medio con el tráfico anual. Fuente: e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

3. Ingresos

3.1 Ingresos característicos

Los aeropuertos obtienen hasta cuatro tipos de ingresos, que en algunas empresas aeroportuarias e institutos de análisis resumen en dos: aeronáuticos y comerciales. Los primeros —aterrizajes, salidas de pasajeros, etc.—suelen estar sometidos a algún régimen de tarifa regulada. Los segundos —cánones sobre las ventas de los comercios del aeropuerto, inmobiliarios, etc. demandados por pasajeros y otros— siguen en cierta forma los principios de precios competitivos o libres. Respecto a este tipo de ingresos se manejan habitualmente algunas inferencias, p.e.: los ingresos comerciales crecen con la proporción de pasajeros que salen o provienen de fuera del país. Sin embargo, parece conveniente empezar por una visión del sector.

La figura 12 muestra el panorama de ingresos unitarios para el conjunto de aeropuertos CD2 y el rango de tráficos manejados. Sorprende los elevados valores de ingresos por pasajeros para aeropuertos de bajo tráfico. Pero debe considerarse que dicho ratio crece más por lo exiguo del tráfico que por la importancia de los ingresos.

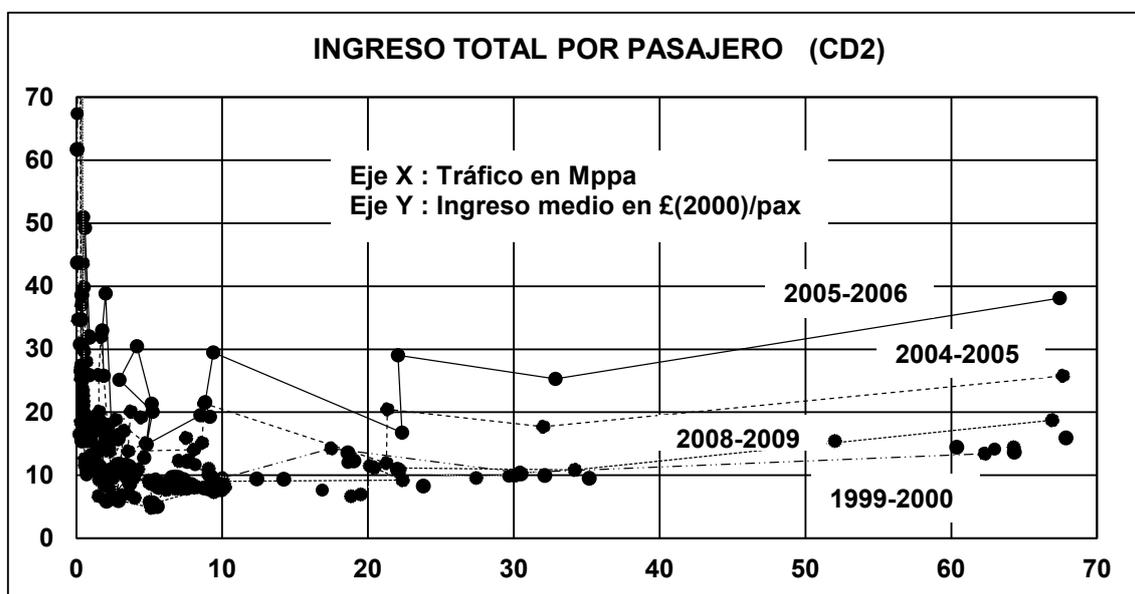


Figura 12. Variación del ingreso total por pasajero con el tráfico anual. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

Por ejemplo, unas instalaciones dedicadas a actividades industriales aeronáuticas, sin conexión con el tráfico, ya eleva esos ingresos de forma importante. Si se observa el comportamiento para volúmenes por encima de los 5 Mppa, puede verse que los valores se sitúan entre límites más modestos.

En la figura 12 se han trazado algunas líneas que unen puntos de un mismo ejercicio. Como puede verse, las diferencias de importes entre el primer ejercicio y el último - dos líneas inferiores que representan los ejercicios 1999-2000 y 2008-2009 respectivamente - no son significativas. Algo que no puede decirse de los años fiscales 2004 a 2006, las dos líneas superiores y que por coyunturales no animan a sacar conclusiones.

Los aeropuertos españoles, período 2009-2012 e importes deflactados con el IPC a precios de 2009, conjunto de datos CD1, se recogen en la figura 13. La forma de la nube de puntos es completa, pero la dispersión para tráficos inferiores a 10 Mppa refleja una similitud notable con lo mostrado en la figura 12. También se aprecia la estela, de un insinuado crecimiento de los ingresos con el volumen de tráfico, para tráficos superiores a dicha cota.

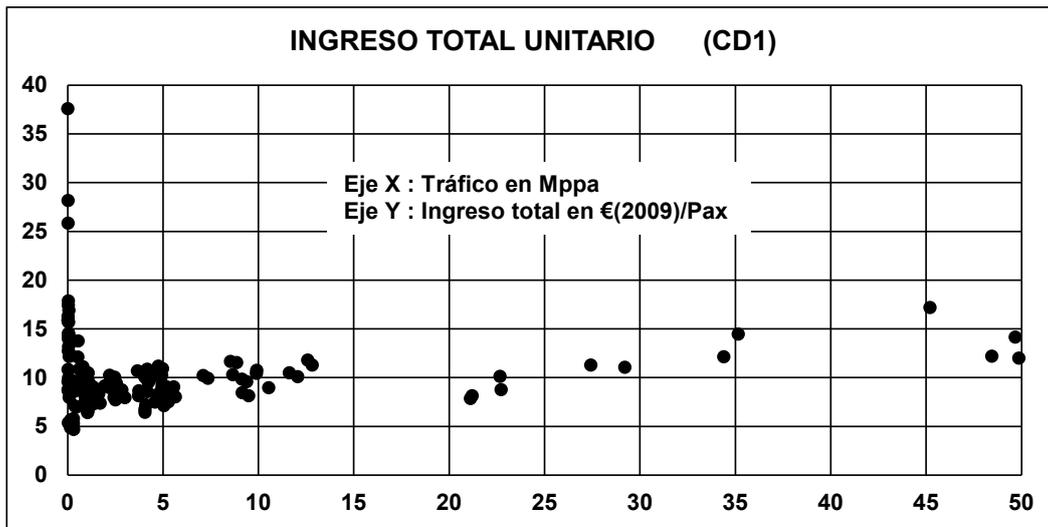


Figura 13. Variación del ingreso total por pasajero con el tráfico anual. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CDI / Fedea.

Volviendo al conjunto de datos original de la figura 11, puede aceptarse que, para el CD2, los ingresos totales por pasajero, por encima de los 10 Mppa, presentan unos valores más elevados en tanto en cuanto son mayores los tráficos manejados. Por lo tanto, podemos inferir que **los aeropuertos de tráficos por encima de los 10 Mppa, obtienen mayores ingresos totales unitarios cuanto mayores son los tráficos manejados (Inferencia nº5).**

Un clásico entre los expertos es el potencial de los ingresos aeroportuarios por la vía de ingresos comerciales. Aquí se encuentran aseveraciones sobre su importancia, asegurándose que si estos superan la cota del 50 %, se está en presencia de una buena gestión aeroportuaria. Pero no será aquí donde se entre en estas indemostradas conjeturas.

Continuando con el enfoque ya seguido, examinaremos los ingresos comerciales unitarios. La figura 14 presenta el panorama en los aeropuertos de UK, década de referencia del CD2. Se ve que hasta los 10 Mppa, la dispersión aleatoria es dominante.

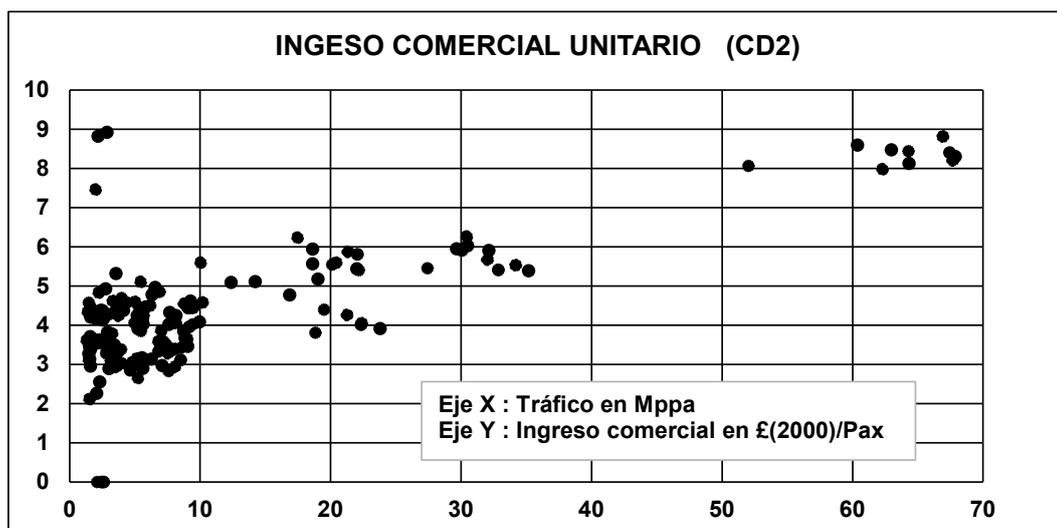


Figura 14. Variación del ingreso unitario con el tráfico anual. **Fuente:** Conjunto de datos CD2 / U.Bath.

Sin embargo, a partir de dicho tráfico, los datos parecen ajustarse a una más coherente senda de crecimiento, como revela la figura 15.

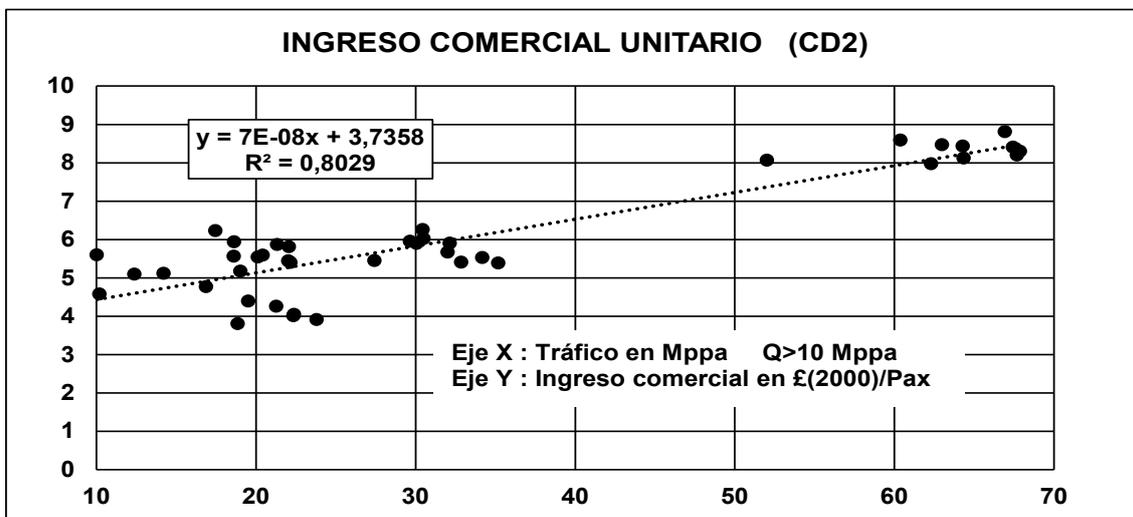


Figura 15. Variación del ingreso unitario con el tráfico anual superior a 10 Mppa. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

En este caso, la relación entre los ingresos comerciales unitarios es directa, por lo que se infiere que **los aeropuertos de tráfico por encima de los 10 Mppa, obtienen mayores ingresos comerciales unitarios cuanto mayores son los tráficos manejados (Inferencia nº6).**

Si el elemento tractor fuera el tráfico internacional la imagen, para el conjunto de los aeropuertos del CD2, sería la de la figura 16, obsérvese que en este caso las abscisas representan tráficos internacionales y no totales.

La fuerte correlación entre pasajeros totales e internacionales hace que los niveles de explicación sean muy semejantes, sobre todo para tráficos por encima de los 5 Mppa y la nube de puntos de la figura 16 podría confundirse con la 12. Por otro lado, si tenemos en cuenta la dimensión de UK es lógico que la mayor parte de los vuelos sean internacionales. Este mismo comportamiento se observa en muchos países europeos, donde los vuelos de más de 1.000 km es por fuerza un viaje internacional.

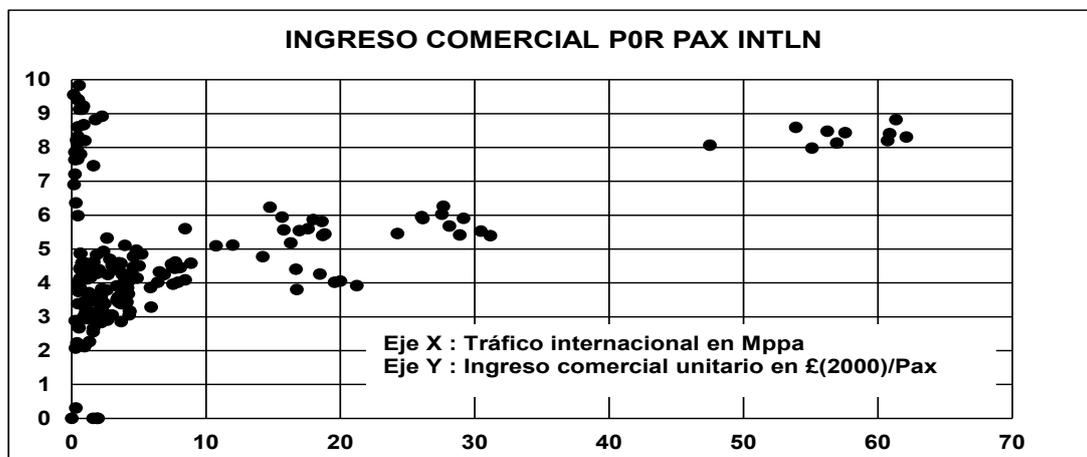


Figura 16. Variación del ingreso unitario, tráfico internacional anual > 10 Mppa. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

Para el rango de tráficos superiores a 10 Mppa, la imagen presenta el mismo aspecto, y aceptable correlación, que para el tráfico total, como se muestra en la figura 17. La semejanza de tales resultados, por encima de los 10 Mppa en figuras 12 y 17, son consecuencia de la escasa contribución de los pasajeros domésticos a tales ingresos. Puede aceptarse entonces el sentir general de que los aeropuertos con tráficos elevados y proporciones altas de pasajeros internacionales se caracterizan por ingresos comerciales unitarios más elevados.

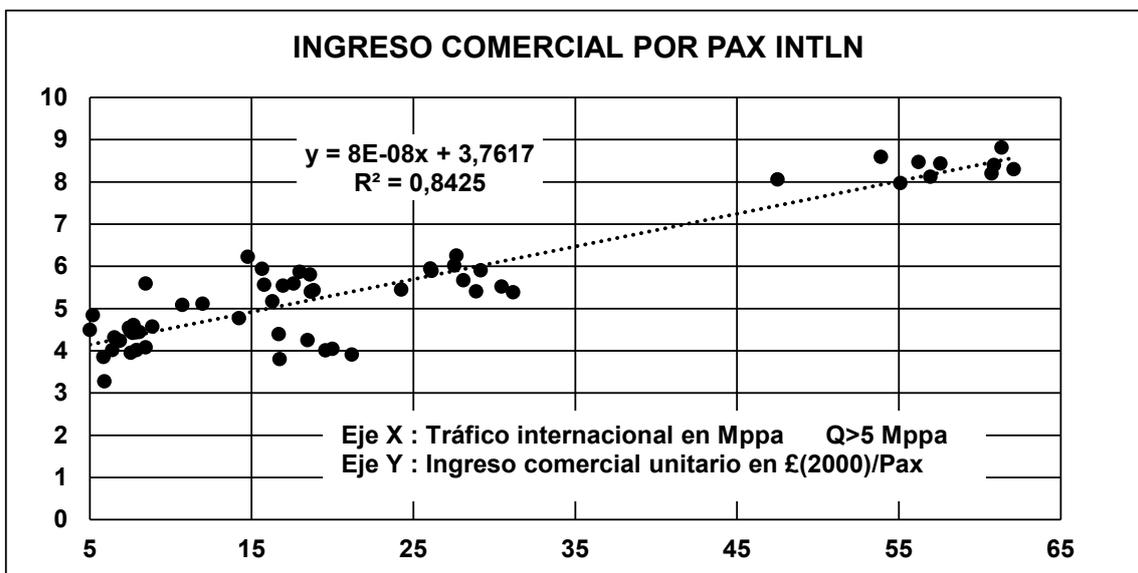


Figura 17. Variación ingreso unitario con tráfico internacional anual > 5 Mppa. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

Desde el punto de vista de la composición del tráfico, el porcentaje de pasajeros internacionales en cada punto ingreso tráfico, el panorama es el de la figura 18.

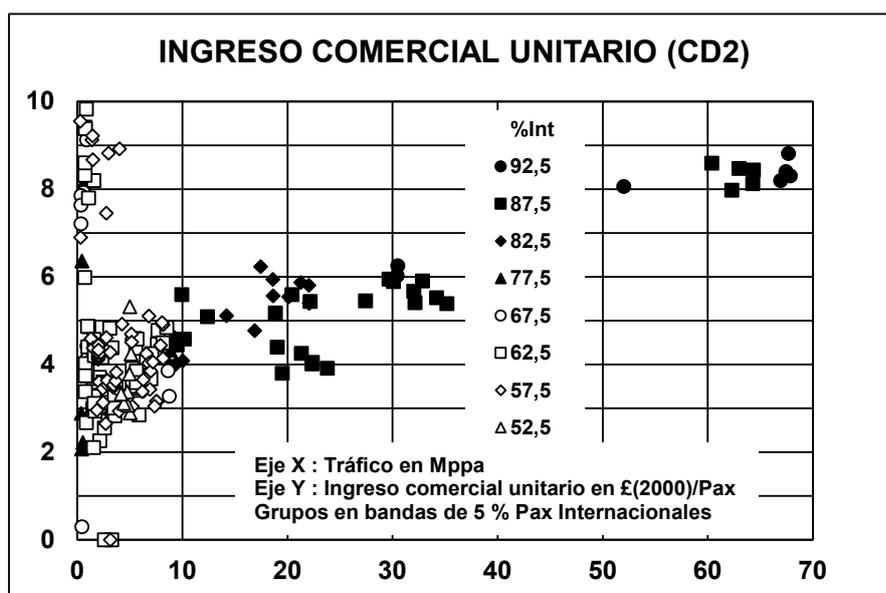


Figura 18. Variación del ingreso unitario con tráficos total e internacional anual. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

En este caso, las abscisas son pasajeros totales y los puntos se agrupan por clases, indicadas en la columna encajada en el centro de la figura, entre el valor porcentual indicado y un 5 % menos. Existen valores de pasaje internacional anormalmente altos en los aeropuertos de tráfico menor y que no se consideran típicos de la industria.

Para tráficos inferiores a 10 Mppa la dispersión es tan enorme que huelga plantearse si la internacionalidad del tráfico tiene algún efecto. Para tráficos superiores a 10 Mppa, en bandas de pasaje internacional por encima del 60 %, los puntos que tienen el mismo porcentaje de tráfico internacional tampoco muestran una pauta de relación entre este tráfico y el total. En consecuencia la sexta inferencia se mantiene en los términos ya enunciados.

4 Beneficio y rendimiento

4.1 Beneficios operativos característicos

La observación del conjunto CD2, véase la figura 19, muestra que la industria aeroportuaria no es estructuralmente deficitaria. Los beneficios —ingresos menos costes operativos, incluidas amortizaciones— requieren eficiencia, pero el volumen de tráfico tiene mucho que ver con su existencia y cuantía. El crecimiento del número de enlaces y volúmenes transportados crean dichos beneficios, mediante economías de escala o los ingresos, estos últimos —deseablemente— no por la vía del abuso monopólico en tarifas. Pero la figura también muestra la necesidad de aplicar la lupa a los aeropuertos de tráfico pequeño. Y de paso, considerar el beneficio unitario, por pasajero, para tener una visión paralela a las utilizadas para los costes medios e ingresos unitarios.

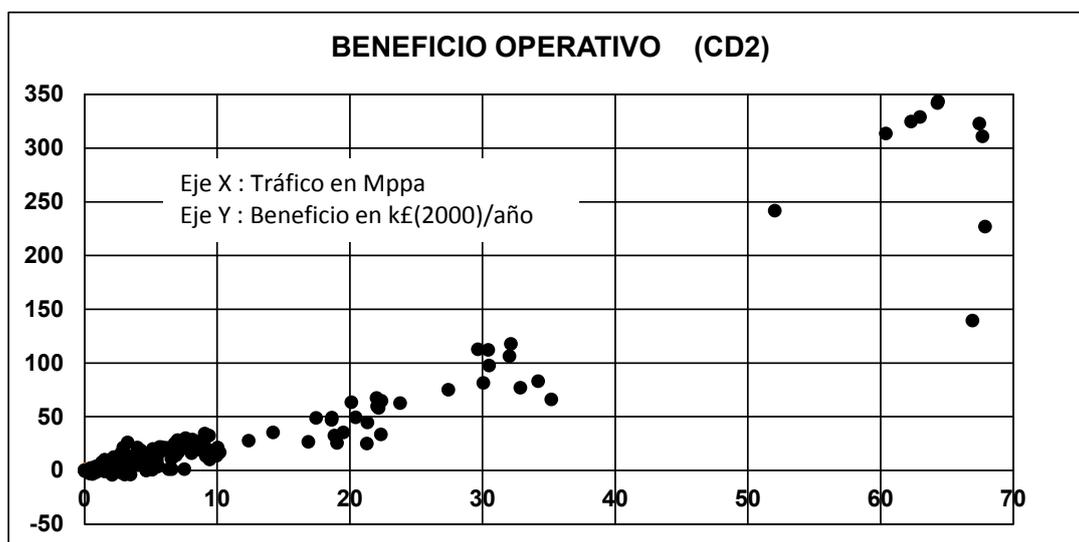


Figura 19. Variación del beneficio operativo unitario con el tráfico anual. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

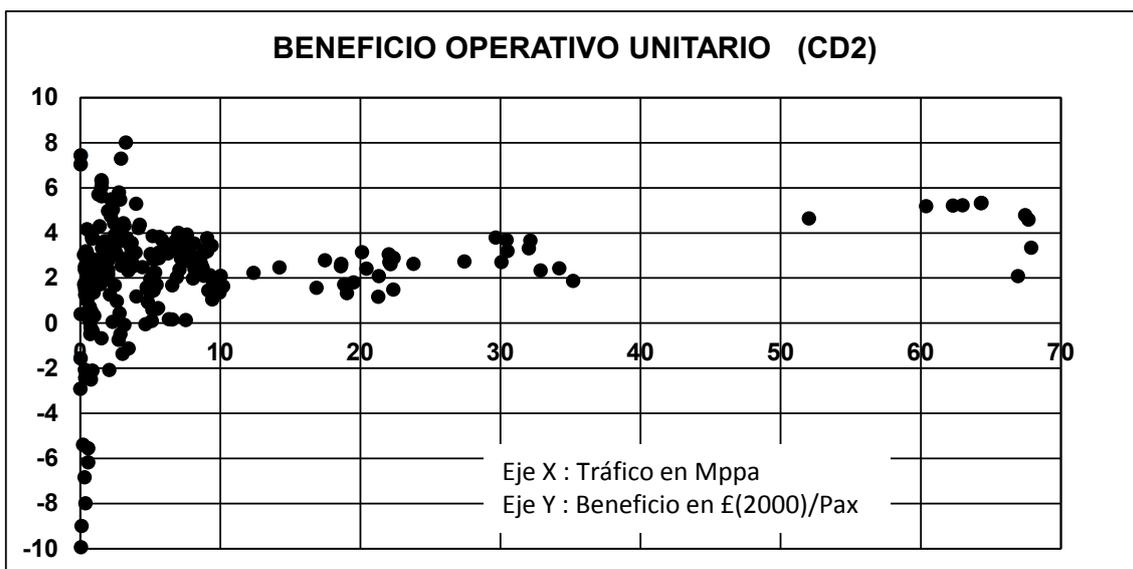


Figura 20. Beneficio operativo unitario con el tráfico anual. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

Evidentemente, la zona turbulenta por debajo de los 5 y 10 Mppa, que se vieron en costes e ingresos unitarios, vuelve a repetirse respecto a los beneficios. A partir de los 10 Mppa los beneficios unitarios entran en una senda de crecimiento suave, sin perjuicio de años menos buenos como los del final de la escala entre 60 y 70 Mppa..

4.2 Rendimiento sobre activos

La visión de los beneficios, en términos de un indicador habitual como la rentabilidad sobre la inversión neta, se muestran en la figura 21, donde se ha tomado el beneficio operativo, sin ajustes financieros, y el valor del activo neto, incluyendo las revalorizaciones de los mismos. En la representación se recoge el panorama del CD2, salvo para el Londres City (LCY), con rendimientos excepcionales que duplican la escala.

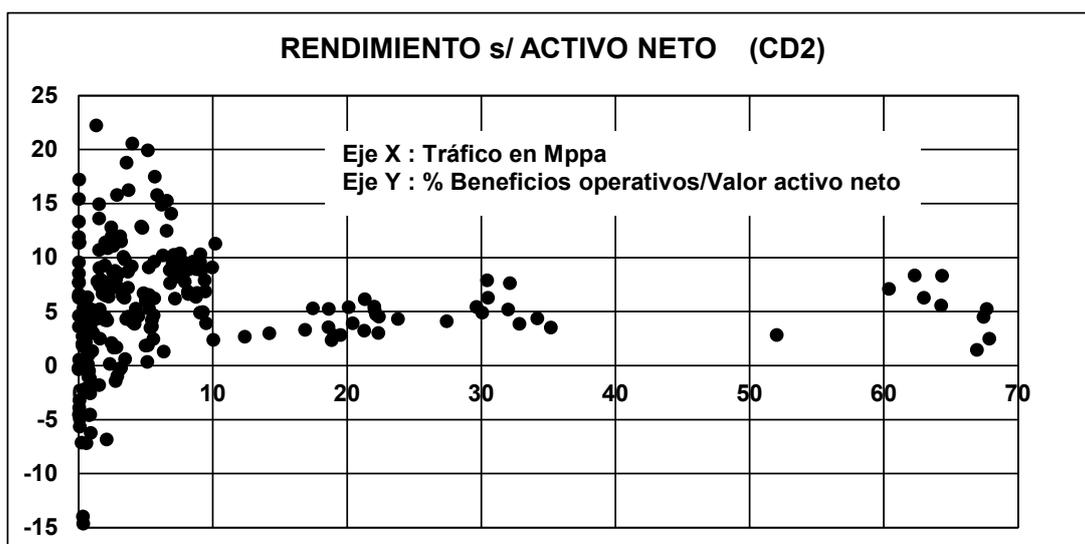


Figura 21. Rendimiento sobre activo neto (%) con el tráfico anual. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

En el intervalo 0-10 Mppa el comportamiento es tan disperso como ya se ha visto en otras variables. En el estrecho rango de 0 a 1 Mppa, figura 22, se encuentran nueve aeropuertos y 82 observaciones, aproximadamente el 30 % presentan rentabilidades negativas.

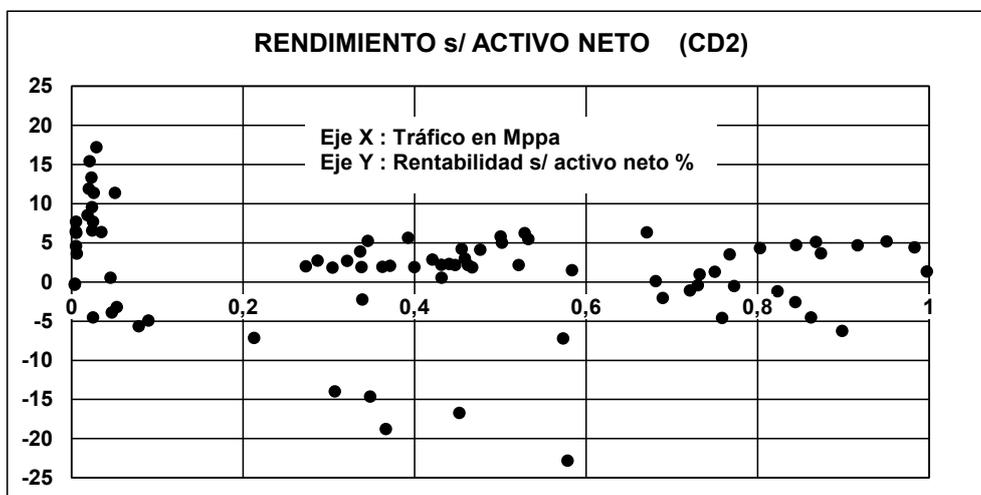


Figura 22. Rendimiento sobre activo neto (%) con tráfico anual < 1 Mppa. **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

Para el rango entre 1 y 10 Mppa, véase la figura 23, las rentabilidades sobre activos se mueven, $\pm 7,5$ % alrededor de un valor del 7,5 %. La citada sobrecursión de LCY por encima de la banda anterior obedece a sus condiciones de explotación: territorio muy pequeño, pista de 1.500 m, infraestructuras mínimas, más de 4 Mppa y un enlace ferroviario con los dos distritos financieros de Canary Wharf y City.

Igualmente, se observa para esta banda entre 1 y 10 Mppa, que el rendimiento sobre la inversión neta es en muchos casos superior, aunque con una amplia dispersión, a la obtenida por los aeropuertos mayores, en la franja de 10 a 70 Mppa, según puede verse en la figura 21.

Finalmente, una visión en el rango de 1-10 Mppa, muestra que los aeropuertos con rentabilidad negativa son solo del orden del 4 % de los puntos aeropuerto-año del rango, como se muestra en la figura 23:

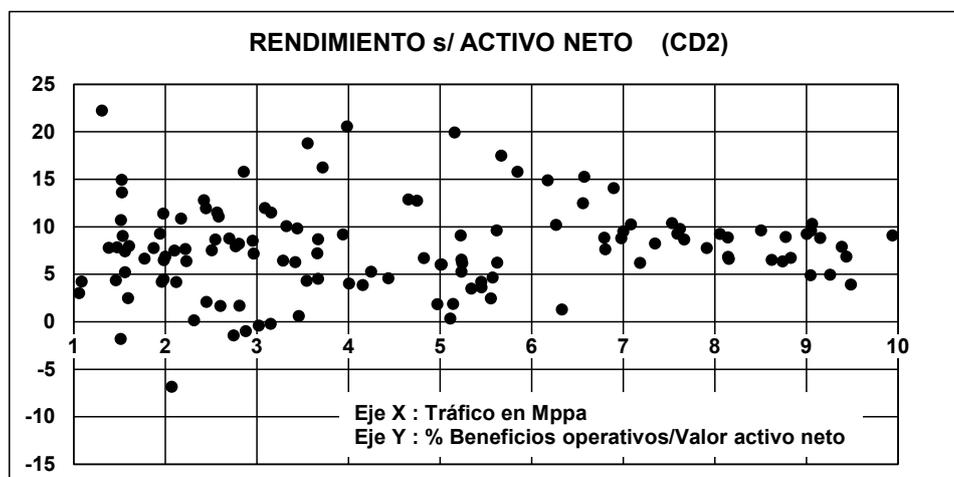


Figura 23. Rendimiento sobre activo neto (%) con tráfico anual (1-10 Mppa). **Fuente:** e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

A la vista de lo anterior parece que puede inferirse respecto al CD2 que **los aeropuertos obtienen normalmente beneficios cuando sus tráficos superan 1 Mppa (Inferencia n°7).**

Continuando con la inspección emprendida, debe mirarse ahora el segmento de tráfico, en CD2, que va entre 10 y 70 Mppa. Aquí destacan dos hechos. El primero es la clara dispersión de resultados para cada aeropuerto. La figura 24, muestra los resultados para Londres-Heathrow (LHR), Londres-Gatwick (LGW), Manchester (MAN) y Standed (STN). Los resultados de los tres primeros presentan una dispersión transversal notable, de la que se escapa STN, el menor de los cuatro.

La segunda observación es que la banda de variación de los rendimientos sobre el activo neto - entre 2 y 8 %, media 4,6 % - es, en conjunto, más estrecha y con eje central más bajo que la de los aeropuertos menores, en la banda de tráficos entre 1 y 10 Mppa, entre 0 y 20 %, media 7,8 %.

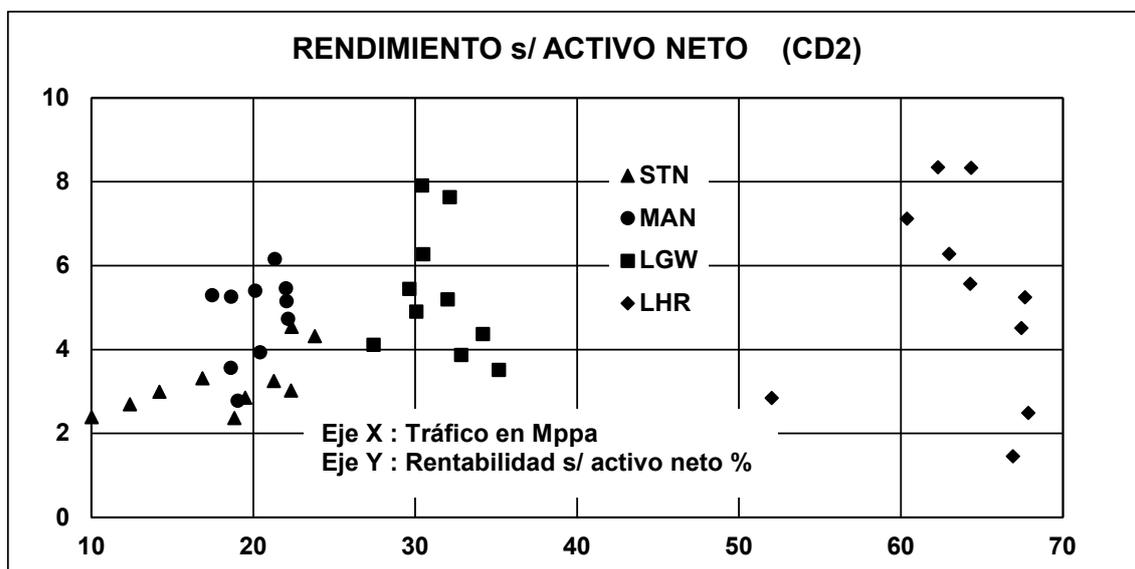


Figura 24. Rendimiento sobre activo neto (%) con tráfico anual > 10 Mppa. Fuente: e.p. del conjunto de datos CD2 / U.Bath.

En definitiva, parece que puede inferirse que **los aeropuertos de mayor tráfico, entre 10 y 70 Mppa, obtienen rendimientos sobre la inversión neta dispersos y menores que los aeropuertos de volúmenes medios de tráfico (Inferencia n°8).**

5 Conclusiones y consideraciones

5.1 Conclusiones

Se han considerado los datos económicos de los aeropuertos del Reino Unido, a lo largo de la década 1999-2009 con sus variados tráficos de pasajeros, conjunto de datos CD2. Igualmente se han considerado eventualmente datos de los aeropuertos de Aena del trienio 2009-2011 y en algún caso del cuatrienio 2009-2012.

Para el coste medio de toda la industria aeroportuaria británica, CD2; se obtiene una nube de datos que muestran valores tanto menores cuanto mayor son los tráficos correspondientes. No obstante, para los aeropuertos de tráficos muy grandes, a partir de 20 Mppa, el proceso se invierte y se apunta un crecimiento con el volumen, observable también en el conjunto CD1 de datos de Aena.

Los puntos coste-tráfico entre 5 y 20 Mppa presentan una nube de dispersión alrededor de un valor estable del coste medio, al contrario de las situaciones entre cero y 5 Mppa, donde el carácter decreciente de la línea central de la nube es muy acusado.

Observados individualmente, los aeropuertos por debajo de 20 Mppa, presentan comportamientos lógicos: presentan costes medios menores para tráficos mayores, salvo cuando hay cambios estructurales o fenómenos de histéresis de costes, casos en que dichos costes crecen. En algunos casos se observa buena correlación coste-tráfico, pero en otras la senda toma la forma de un camino aleatorio. Para los grandes aeropuertos los costes medios se mantienen excepto por los saltos que suponen las grandes inversiones.

Respecto a los ingresos se aprecia que para los aeropuertos de tráfico superior a 10 Mppa el ingreso unitario crece con el volumen del tráfico. Esta tendencia se mantiene tanto para los pasajeros totales como para los internacionales. Evidentemente, la alta correlación entre ambos tráficos lleva a tal circunstancia. No obstante, el tráfico internacional, supuesto ya por encima del 50 %, no parece tener mayor influencia en el ingreso unitario.

En cuanto a los beneficios, se observa un comportamiento por bloques. Por encima de 1 Mppa los aeropuertos tienen claramente una rentabilidad positiva, mientras que por debajo las rentabilidades negativas se tienen en uno de cada tres casos. Entre 1 y 10 Mppa se obtienen rendimientos del orden del 8 %, mientras que a partir de 10 Mppa —los grandes aeropuertos— las rentabilidades son más dispersas y del orden del 6 %.

5.2 Otras consideraciones

En ocasiones, las instituciones, e incluso administraciones locales, claman por la adecuación de aeródromos militares o la transformación de aeródromos civiles en aeropuertos comerciales, cuando no promueven la construcción de uno nuevo. Dado que los tráficos son determinantes en el desempeño económico —y al final financiero— de la instalación, deberían considerarse las siguientes cuestiones.

Hasta alcanzar el primer millón anual de pasajeros pueden transcurrir muchos años. Algunos aeropuertos veteranos nunca superaron esa cifra, p.e., Vitoria, Valladolid, Pamplona, Salamanca, Badajoz, Córdoba. Otros, nuevos helipuertos, aún no han llegado ni a la milésima parte, p.e., Ceuta, Algeciras. Otros, promocionados desde bases militares preexistentes a aeropuertos, tampoco han tenido más suerte, p.e., Logroño-Agoncillo, Burgos, Albacete. A los anteriores de Aena hay que sumar, en la órbita regional o privada los inoperativos de Ciudad Real o Castellón de dudosa viabilidad.

Con tráficos de unas decenas o pocos cientos de miles de pasajeros al año, los costes medios resultan muy superiores a los ingresos totales unitarios aplicables para que el aeropuerto sea viable económicamente y sus servicios asequibles —en calidad y precio— para aerolíneas y pasajeros. Costes que al no poderse recuperar deben ser financiados. En un entorno de empresas aeroportuarias privadas o semiprivadas, la solución «Aena»

de financiarlos mediante el excedente empresarial total parece, con visión de futuro, menos viable.

En el caso español, circunscrito a aeropuertos de Aena, la tabla 2 recoge aeropuertos de unos pocos de miles de pasajeros anuales (kppa) para el 2015.

AEROPUERTOS DE TRÁFICO MUY BAJO / AENA												
AERO-PUERTO	ES	VLL	PAM	SLM	BJZ	ODB	RJL	RGS	ABC	JCU	HSK	ALG
	Vitoria	Vallad.	Pampl.	Salam.	Badaj.	Córdo.	L. Rioja	Burgos	Albac.	Ceuta*	Huesca	Algec.*
Inicio ops.	(**)	(**)	(**)	(**)	(**)	(**)	2003	2000	2003	2010	2006	2010
kppa 2015	255,1	218,4	148,6	23,1	22,3	7,4	14,9	9,1	1,4	1,1	0,2	0,0
(*) Helipuertos		(**) Aeropuertos existentes al inicio de operaciones de Aena (1991)										

Tabla 2. Aeropuertos de tráfico muy bajo. **Fuente:** e.p. de www.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home

Una alternativa es la declaración de obligación de servicio público con financiación por parte de los gobiernos regionales o el estatal. En el contexto europeo y español actuales, tales obligaciones se aplican a servicios de transporte aéreo prestados por aerolíneas, pero no a servicios aeroportuarios. Igualmente las arcas públicas no están para alegrías y la cuestión ni siquiera se plantea. La tercera, que no es solución, es ignorar el problema y acabar con una deuda impagable.

Las implicaciones anteriores quedan del lado de los costes e ingresos corrientes. Lo relativo a las inversiones, para alcanzar la capacidad y seguridad necesarias para el tráfico en los aeropuertos citados, es otra cosa, pero ahora no toca.

6. Referencias Bibliográficas

- Condie S. Flanagan P. & Marchant J. (2001). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 1999/2000*. Bath: University of Bath.
- Condie S. Flanagan P. & Marchant J. (2002). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2000/2001*. Bath: University of Bath.
- Condie S. Flanagan & P. Marchant J. (2003). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2001/2002*. Bath: University of Bath.
- Cruishank A. Flanagan P. & Marchant J. (2004). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2002/2003*. Bath: University of Bath.
- Cruishank A. Flanagan P. & Marchant J. (2005). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2003/2004*. Bath: University of Bath.
- Cruishank A. Flanagan P. & Marchant J. (2006). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2004/2005*. Bath: University of Bath.
- Cruishank A., Flanagan P. & Marchant J. (2008). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2006/2007*. Bath: University of Bath.
- Fedea & Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (2013). *Revisando la taxonomía de los aeropuertos españoles*. Madrid: Autor.

- Flanagan P. Marchant J. & Morris M. (2007). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2005/2006*. Bath: University of Bath.
- Leigh Fisher Consultancy. (2016). *Airport Performance Indicators for 2015*. London. Autor.
- Salazar de la Cruz F. (1999). A DEA approach to the airport production function: *International Journal of Transport Economics*. Vol XXVI, N^o 2, p.p. 255-270.
- Salazar de la Cruz F. (2003). *Introducción a la gestión económica de aeropuertos*. Madrid: Fundación Aena.
- Sharp R. Starkie D. & Marchant J. (2010). *Statistical Series. The UK Airport Industries: Airport Statistics 2008/2009*. Bath: University of Bath.



Facultad
de Ciencias
Económicas y
Empresariales

Departamento
de Economía
Aplicada y
Estadística



**Revista de Evaluación de
Programas y Políticas Públicas**
JOURNAL OF PUBLIC PROGRAMS AND POLICY EVALUATION

Evaluación de la productividad y eficiencia en los aeropuertos españoles después de la liberalización del transporte aéreo

Evaluating productivity and efficiency of Spanish airports after air transport liberalization

Núm. 9 (2017), pp. 99-112

Inglada, Vicente*
Coto-Millán, Pablo**
Inglada-Pérez, Lucía***

Recibido: **diciembre, 2016**

Aceptado: **diciembre, 2017**

JEL Clasif: L32, L93, H54

DOI: [10.5944/reppp.9.2017.17686](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.17686)

* VICENTE INGLADA: Universidad Nacional de Educación a Distancia. E-mail: vinglada@cee.uned.es

** PABLO COTO-MILLÁN: Universidad de Cantabria. E-mail: pedro.coto@unican.es

*** LUCÍA INGLADA-PÉREZ: Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Economía. España.
E-mail: linglada@eco.uc3m.es

Resumen

Desde la década de los noventa, se han desarrollado diversos procesos —liberalización del transporte aéreo, globalización, irrupción de las compañías aéreas de bajo coste— que han tenido implicaciones relevantes sobre el sistema aeroportuario español. Este artículo estudia los cambios acaecidos en la productividad y eficiencia técnica de los aeropuertos españoles entre 1992 y 2012. Para ello se aplica la metodología denominada Análisis Envolvente de Datos (DEA) que permite la estimación de índices Malmquist de productividad y su posterior descomposición en indicadores de eficiencia técnica y cambio tecnológico. Los resultados obtenidos muestran que los aeropuertos españoles han experimentado durante el periodo analizado un moderado incremento de la productividad total de los factores que es imputable prácticamente en exclusiva al crecimiento de la eficiencia técnica.

Palabras clave: Aeropuertos; Malmquist; DEA; eficiencia; productividad; cambio tecnológico

Abstract

Since the 1990s, several significant events i.e. liberalization of air transport, globalization, economic crisis and low-cost carrier presence, have produced considerable effects on the Spanish airports. This paper studies the changes in both technical efficiency and total factor productivity of Spanish airports that have happened in 1992-2012. To this end, we have applied a Data Envelopment Analysis (DEA) methodology to estimate Malmquist indices of productivity change that have the advantage of being able to break down as a combination of the technological change and the technical efficiency. Results show that Spanish airports have experienced during the period analyzed an increment in the total factor productivity which is mainly due to technical efficiency change.

Key Words: Airports; Malmquist; DEA; efficiency; productivity; technological change

1. Introducción

Desde el inicio de la década de los 90, la confluencia de diversos procesos ha generado consecuencias importantes sobre los actores involucrados en la industria aérea española, y en particular sobre el sistema aeroportuario. El proceso de liberalización del transporte aéreo y de ciertos servicios aeroportuarios de asistencia en tierra, acometidos en España durante la década de los 90, la irrupción de las compañías de bajo coste en los años noventa y la intensa crisis económica comenzada en 2008, son algunos ejemplos representativos de tales fenómenos que han incidido profundamente en el funcionamiento de los aeropuertos españoles (Coto-Millán *et al.*, 2016). Por ello, el estudio de los cambios acaecidos durante dicho periodo en las principales variables que caracterizan a cada aeropuerto adquiere un carácter sumamente relevante.

El objetivo básico de este trabajo es analizar los cambios producidos en los aeropuertos españoles entre los años 1992 y 2012, incidiendo con especial énfasis en el tráfico de mercancías y pasajeros, así como en el grado de eficiencia y productividad mostrado en su gestión. Los aeropuertos españoles se caracterizan por la existencia de una elevada diferenciación en su tamaño. Por todo ello, no solo se estudia la evolución de su nivel de eficiencia sino también se descompone la eficiencia de cada aeropuerto en sus dos componentes, asociadas, respectivamente, a la escala y la puramente técnica. En la eficiencia de escala intervendría decisivamente el tamaño del aeropuerto. El estudio se lleva a cabo sobre 33 aeropuertos, utilizando una metodología de análisis no paramétrico, que permite la estimación de índices Malmquist de productividad y su posterior descomposición en indicadores de eficiencia técnica y cambio tecnológico.

La herramienta metodológica empleada es el denominado Análisis Envolvente de Datos (DEA), una técnica de programación lineal no paramétrica que es adecuada para estimar la eficiencia y rendimientos de escala mediante la construcción de la frontera más eficiente. Esta metodología presenta, entre otras, la ventaja de su flexibilidad, al no imponer forma funcional alguna para la frontera tecnológica, que es construida a partir de las prácticas más eficientes y sus combinaciones lineales.

Dado su interés, no es extraño que en la literatura sobre eficiencia y productividad se reconozcan numerosos trabajos que analizan la eficiencia técnica de los aeropuertos tanto españoles como de otros países¹. Sin embargo, no existe, en nuestro conocimiento, un estudio para el caso español que considere un periodo tan amplio de 20 años como se realiza en esta investigación.

Con estos objetivos, la estructura de esta investigación es la siguiente. En la sección segunda se revisa la metodología utilizada para el cálculo de la variación de la productividad y de los índices de eficiencia técnica y de escala. En la sección tercera se describen y analizan los datos utilizados. A continuación, en la sección cuarta, se discuten los resultados obtenidos, y por último, en la sección quinta se exponen las principales conclusiones.

¹ En Coto-Millán *et al.* (2014) se lleva a cabo una revisión completa de la literatura internacional sobre eficiencia en aeropuertos.

2. Metodología

2.1. Análisis Envolvente de Datos (DEA)

Se considera una empresa que emplea K factores productivos: $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$ que están disponibles a unos precios fijos, para producir un producto Y , que se puede vender a un precio fijo. Desde la perspectiva de la eficiencia, la característica básica de la función de producción radica en que proporciona la máxima cantidad de producto que es posible obtener para cada vector de cantidades aplicadas de los factores productivos, bajo ciertas condiciones impuestas por la tecnología. Por lo tanto, describe un límite o frontera y, así, en la literatura económica, esta función es denominada función frontera ya que caracteriza el comportamiento optimizador de un productor eficiente y, por tanto, marca los límites de los posibles valores de su respectiva variable dependiente.

Las medidas de eficiencia de las unidades investigadas se obtienen comparando los valores observados para cada unidad productiva con el óptimo definido por la frontera estimada.

La hipótesis de rendimientos constantes de escala es un supuesto altamente restrictivo en la medida de la eficiencia técnica. En este sentido, Forsund y Hjalmarsson (1979), consideran la alternativa de rendimientos variables e introducen el concepto de eficiencia de escala. Un proceso de producción puede basarse en la hipótesis de rendimientos constantes de escala (CRS), aunque en la mayoría de situaciones es más apropiado suponer una tecnología con rendimientos variables de escala (VRS). Cuando existen grandes disparidades en el tamaño de las unidades de producción, hecho que sucede en los aeropuertos españoles, sería conveniente comparar cada unidad con otras similares en escala de producción ya que la diferencia de magnitud de la ineficiencia entre unidades podría ser debida a la escala.

Asimismo, el índice de eficiencia técnica admite dos especificaciones dependiendo de que se tome como referencia el nivel de producción o los factores productivos. En el primer modelo, orientado hacia el output, se mide la proporción en que se puede incrementar el nivel de producción con las cantidades de factores empleadas mientras que en el segundo modelo, orientado hacia el input, se mide la proporción en que se pueden reducir los factores productivos para seguir produciendo la misma cantidad de output. En una tecnología de rendimientos constantes de escala, las dos versiones del índice coincidirían. En el caso de los servicios públicos, en general, el output está relacionado a la demanda existente que es una variable, en gran medida, exógena a la empresa, mientras que el ahorro de costes es uno de los objetivos relevantes de la empresa. Por ello, en estos casos se dan las condiciones idóneas para desarrollar un modelo de proyección orientado al input. De acuerdo con Coto-Millan *et al.* (2014) y Tovar y Rendeiro Martín-Cejas (2009), este será el modelo adoptado en esta investigación.

La técnica denominada Análisis Envolvente de Datos (DEA) parte de Farrell (1957) que propone construir lo que denomina isocuanta envolvente a partir de los ratios inputs-output observados, con datos de sección cruzada². Este método de cálculo ha sido desarrollado con posterioridad. Entre otros, por Charnes *et al.* (1978). Esta metodología

2 Es decir, con datos de cada unidad (en este caso aeropuertos) para un año determinado.

tiene la ventaja de permitir relajar supuestos como el de rendimientos constantes y contemplar casos más generales como el de las tecnologías multiproducto. Mediante esta técnica se construye una frontera de producción de referencia mediante métodos de programación matemática a partir de unidades productivas eficientes y de combinaciones lineales de las mismas. Esta frontera poligonal lineal no paramétrica representaría el proceso óptimo en la transformación de un conjunto de inputs en los outputs finales. Las medidas de la eficiencia son las distancias que separan a cada empresa de la frontera. Una descripción completa de esta metodología DEA se realiza en Cooper *et al.* (2000), Thanassoulis (2001) y Salazar (1999). Este tipo de metodología basada en la identificación de fronteras no paramétricas ha sido frecuentemente utilizada en la literatura económica, fundamentalmente para el sector bancario, agrario, hospitales, así como transporte ferroviario y aéreo.

A continuación, se presenta el ejercicio de programación lineal correspondiente a los modelos DEA orientados al input y con rendimientos constantes y variables de escala que es el utilizado en esta investigación. En el caso de n aeropuertos, la magnitud de la eficiencia técnica (ET_j) de cada aeropuerto j bajo rendimientos constantes de escala (CRS) y un modelo DEA orientado hacia el input, puede estimarse resolviendo el siguiente problema de programación lineal (Coelli, 1998):

$$ET_j = \underset{\theta_j^{CRS} \lambda}{\text{Min}} \theta_j^{CRS} \quad \text{sujeto a : } Y_j \leq Y\lambda; \theta_j^{CRS} X_j \geq X\lambda; \lambda \geq 0 \quad (1)$$

Donde X e Y son respectivamente los vectores input y output, θ_j^{CVS} es la eficiencia técnica del aeropuerto j , suponiendo rendimientos constantes de escala, y λ es un vector de pesos o ponderaciones de dimensión $n \times 1$. Estas ponderaciones no pueden ser negativas y miden la contribución de las unidades seleccionadas eficientes a la definición de un punto de referencia para el aeropuerto ineficiente j . En general, $0 \leq \theta_j^{CVS} \leq 1$, donde $\theta_j^{CRS}=1$ si el aeropuerto está produciendo sobre la frontera de producción y por tanto es técnicamente eficiente. Cuando $\theta_j^{CRS}<1$, el aeropuerto es técnicamente ineficiente. Para obtener la eficiencia técnica θ_j^{VRS} bajo rendimientos variables de escala (VRS) se añade la restricción de convexidad $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ a la ecuación (1).

2.2. Índices de Malmquist

Una forma de estudiar la evolución de la productividad de los factores a lo largo del tiempo es mediante los denominados índices de Malmquist. Estos índices poseen la ventaja de poder descomponer el cambio en la productividad total de los factores (TFP) como una combinación del cambio técnico y del cambio en la eficiencia técnica. De acuerdo con Färe *et al.* (1994) y Färe *et al.* (1998), el cambio en la eficiencia mide la habilidad para hacer el mejor uso de la tecnología disponible, mientras el cambio tecnológico se refiere a

una mejora o empeoramiento del estado de la tecnología. En contraste con otros índices de productividad, los índices Malmquist tienen la ventaja de que no requieren disponer de datos acerca de precios. Se calculan mediante la media geométrica de las ratios de productividad de los factores en los periodos t y $t+1$ (ver Murillo-Melchor, 1999).

El índice Malmquist entre los periodos t y $t+1$ es:

$$M_I^{t,t+1}(X_t, Y_t; X_{t+1}, Y_{t+1}) = \left[\frac{D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^t(X_t, Y_t)} \times \frac{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^{t+1}(X_t, Y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Donde X_t e Y_t son los inputs y outputs en el periodo t , respectivamente;

$D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})$ es la distancia entre la observación en el periodo $t+1$ y la tecnología

frontera en el periodo t , que es definida por $D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1}) = \max \{ \lambda : (X_t / \lambda) \in L_t(Y_t) \}$; λ

mide la máxima reducción de los inputs y $L_t(Y_t)$ es el conjunto de inputs.

Este índice representaría la variación de la productividad de los factores del punto de producción (x_{t+1}, y_{t+1}) relativa al punto de producción (x_t, y_t) . Un valor mayor que 1 indicaría una variación positiva de la productividad entre el periodo t y $t+1$. Para resolver esta ecuación hay que estimar, por lo tanto, las cuatro funciones de distancia correspondientes, lo que trae consigo la resolución de cuatro ejercicios de programación lineal similares a aquellos existentes en el cálculo de las medidas de la eficiencia técnica.

El índice de Malmquist que mide la variación de la productividad de los factores puede expresarse también de la siguiente forma, que nos permite descomponerlo en dos componentes.

$$M_I^{t,t+1}(X_t, Y_t; X_{t+1}, Y_{t+1}) = \frac{D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^t(X_t, Y_t)} \left[\frac{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \frac{D_I^t(X_t, Y_t)}{D_I^t(X_t, Y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

La primera componente de la ecuación es el cambio en la eficiencia técnica: (relativa a tecnología CRS): $\frac{D_I^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^t(X_t, Y_t)}$.

La segunda componente es el cambio tecnológico:

$$\left[\frac{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_I^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \frac{D_I^t(X_t, Y_t)}{D_I^t(X_t, Y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

La expresión anterior puede ampliarse descomponiendo el cambio en eficiencia técnica (CRS) en sus dos componentes de variación en la eficiencia de escala y en la eficiencia técnica pura (VRS). Para ello es necesario estimar dos nuevos ejercicios de programación lineal considerando las funciones distancia, relativas a una tecnología de rendimientos variables de escala en vez de rendimientos constantes de escala.

3. Análisis de datos

Los datos usados en esta investigación corresponden a 33 aeropuertos españoles observados entre los años 1992 y 2012 y han sido obtenidos de AENA. Aeropuertos Nacionales³. La imposibilidad de disponer de datos para todos los años del periodo nos impide usar un panel de datos y por ello se han utilizado los datos correspondientes a los años 1992 y 2012. La selección de la muestra de 33 aeropuertos se ha realizado con base en el criterio de tener una dimensión significativa en relación con el tráfico aéreo comercial durante el periodo analizado. Con esta muestra se cubre prácticamente el 98 % del tráfico en todo el periodo analizado.

La selección de las variables utilizadas como inputs y outputs de la función de producción está basada en la literatura existente y en la disponibilidad de datos y coincide con la adoptada en Coto *et al.* (2016) donde se explica con detalle el proceso de selección y las características de las variables utilizadas. En resumen, con base en que la industria aeroportuaria puede considerarse de producción conjunta (Yoshida, 2004), los outputs utilizados son: (i) número de pasajeros embarcados y desembarcados (ii) número de toneladas embarcadas y desembarcadas y (iii) número de operaciones. Los inputs considerados de acuerdo con Oum *et al.* (2003) están asociados con los distintos tipos de gasto, es decir, coste de personal, capital medido por el inmovilizado neto y otros gastos operativos correspondientes al resto de factores de producción distintos de los correspondientes al trabajo y capital.

Tabla I. Magnitudes de los principales estadísticos de inputs y outputs. **Fuente:** Elaboración propia.

Variables	1992				2012				
	Mín.	Máx.	Media	D.T.	Mín.	Máx.	Media	D.T.	
Outputs	Número de pasajeros(miles)	100	18096	2486,5	4028,5	24,4	45190,5	5877,5	10001
	Cantidad de mercancías (toneladas)	10	188383	12090,8	34037,2	0,2	361019,8	19734	63774,2
	Número de movimientos	1850	181696	26612	40719,5	4248	373192	54532,9	80355,4
Inputs	Coste del Trabajo (millones de Euros)	0,7	21,4	4,6	4,6	1,1	29,6	5,9	6,2
	Inmovilizado (millones de Euros)	11,8	6159,4	448	1159,8	7,9	3176,6	265,6	598,9
	Resto de Costes operativos (millones de Euros)	0,1	21,1	2,7	4,5	1,2	185,0	15,3	34,6

3 Los datos utilizados proceden de <http://www.aena.es>

Todas las variables input y output seleccionadas han sido frecuentemente utilizadas en los estudios sobre eficiencia en aeropuertos como se muestra en Tovar y Rendeiro Martín-Cejas (2010) y en Coto-Millan *et al.* (2014). Las variables monetarias consideradas como inputs fueron deflactadas por el deflactor del PIB y expresadas en valores monetarios de 1992.

En la tabla 1 se muestran las magnitudes de los principales estadísticos correspondientes a las variables elegidas como inputs y outputs para 1992 y 2012. Se comprueba en los dos años de referencia que para todas las variables existe una gran disparidad entre sus valores máximo y mínimo. Este resultado muestra la existencia de una elevada concentración en la distribución del tráfico por aeropuertos en ambos años. Además, la desviación típica de todas las variables outputs es sensiblemente mayor en 2012 respecto a 1992, lo que sugiere un aumento de la dispersión en la distribución del tráfico de viajeros y mercancías entre los aeropuertos a lo largo del periodo.

4. Análisis de los resultados

4.1. Variación en el tráfico de pasajeros y mercancías

En la tabla 2 se muestran las variaciones que experimenta los tráficos de pasajeros, mercancías, y toneladas equivalentes⁴ (TEQ) entre los años 199 y 2012 para cada aeropuerto de la muestra seleccionada. La variación media por aeropuerto es positiva para las tres variables consideradas. Los crecimientos medios anuales son: 4,40 %; 2,48 % y 4,32 % para el número de pasajeros, toneladas y TEQs, respectivamente.

Ver **Tabla 2** en la siguiente página*

⁴ Se considera un pasajero equivalente a 100 kg de mercancía. Esta unidad es utilizada en otras investigaciones como en Martin *et al.*, (2009).

***Tabla 2.** Tasa de variación anual del tráfico de viajeros y mercancías en los aeropuertos españoles (1992-2012) (Tanto por ciento). **Fuente:** Elaboración propia

Aeropuertos	Pasajeros (Millones)	Mercancías (Millones de Toneladas)	Toneladas Equivalentes (Millones)
Murcia-San Javier	13,09	-31,32	12,91
Girona	12,15	-1,80	12,12
Reus	11,84	2,11	11,83
Santander	9,07	-22,08	9,02
Zaragoza	4,47	11,14	7,17
Bilbao	6,53	-2,04	6,40
A Coruña	6,30	-1,41	6,26
Barcelona-El Prat	6,47	1,45	6,24
Alicante	5,97	-2,80	5,90
Asturias	5,44	-6,26	5,40
Valencia	5,31	1,82	5,19
Fuerteventura	5,26	-4,06	5,18
Málaga	4,87	-3,83	4,81
San Sebastián	4,90	-9,43	4,77
Jerez de la Frontera	4,77	-7,34	4,75
Valladolid	4,74	-4,17	4,72
Madrid-Barajas	4,68	3,31	4,57
Santiago	4,65	-4,60	4,42
Media	4,40	2,48	4,32
Vigo	4,16	-0,59	4,10
Ibiza	3,96	-3,00	3,90
Granada	3,85	-9,76	3,82
Palma de Mallorca	3,29	-0,34	3,26
Lanzarote	2,90	-5,48	2,81
Vitoria	-10,53	19,83	2,30
Almería	2,32	-16,11	2,29
Tenerife	2,29	-1,08	2,22
La Palma	2,29	-5,31	2,16
Sevilla	2,12	-0,89	2,07
Menorca	2,16	-4,39	2,07
El Hierro	2,09	-4,92	1,97
Gran Canaria	2,03	-2,62	1,87
Melilla	1,55	-4,05	1,48
Pamplona	1,37	-11,14	1,33

En relación con el número de pasajeros, excepto el aeropuerto de Vitoria, todos los aeropuertos experimentan una variación positiva. Los cuatro aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento entre los años 1992 y 2012 son: Murcia-San Javier (con una tasa de crecimiento anual del 13,09 %); Girona (12,15 %); Reus (11,84 %) y Santander (9,07 %).

Cabe resaltar que los cuatro aeropuertos citados tienen en común pertenecer al estrato de aeropuertos caracterizado por tener la mayor presencia de las compañías de bajo coste.

En el caso del tráfico de mercancías, destaca el pronunciado crecimiento de los aeropuertos de Vitoria (con una tasa de crecimiento anual del 19,83 %) y Zaragoza (11,14 %). Como se menciona en Coto-Millan *et al.* (2016), estos dos aeropuertos se caracterizan por haberse especializado en el tráfico de mercancías. Finalmente, combinando los resultados descritos en el tráfico de viajeros y mercancías se observa que, en relación con el número de toneladas equivalentes, los resultados son muy similares a los descritos para el tráfico de viajeros. Los aeropuertos con mayor crecimiento vuelven a ser Murcia-San Javier (12,91 %); Girona (12,12 %); Reus (11,83 %) y Santander (9,02 %). Aparte de ello, cabe destacar el elevado crecimiento del tráfico de TEQs en el aeropuerto de Zaragoza (7,17 %).

En el gráfico 1 se muestran las magnitudes de la variación entre los años 1992 y 2012 de la producción de cada aeropuerto expresada en TEQs respecto al número de TEQs transportadas en 1992. Se observa que existe una correlación negativa entre ambas variables de forma que cuanto mayor es el tráfico inicial menor es la tasa de crecimiento del tráfico en el periodo analizado.

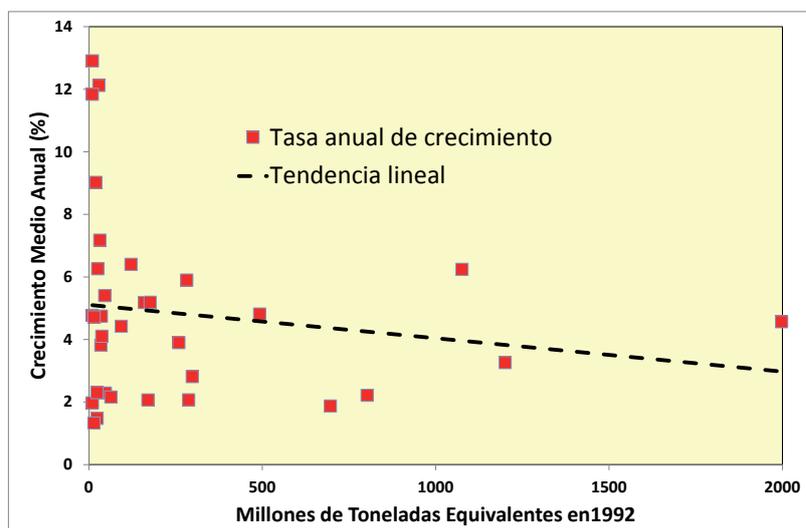


Gráfico 1. Relación entre el crecimiento del tráfico en los años 1992 y 2012 y el nivel del tráfico en 1992. **Fuente:** Elaboración propia.

4.2. Variación de la productividad y eficiencia

Se ha utilizado el enfoque metodológico denominado Análisis Envolvente de Datos (DEA) que se describe en el apartado 2 de esta investigación para determinar la variación de la productividad y eficiencia en cada aeropuerto a partir de los índices de Malmquist. Los resultados obtenidos se describen a continuación.

En la tabla 3 se muestran las magnitudes para cada aeropuerto de las variaciones, expresadas en tantos por ciento, producidas en la productividad total de los factores, cambio técnico, eficiencia técnica (CRS) y en sus dos componentes, eficiencia técnica pura (VRS) y eficiencia de escala. Se observa que en relación con la variación de la productividad total de los factores, los seis aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento durante 1992-2012, expresado en tasa anual de variación, son: Vitoria (10,17 %); Girona (6,26 %); San Sebastián (5,66 %); Zaragoza (4,81 %); Jerez de la Frontera (4,15 %) y Santander (3,47 %). Cabe resaltar que los aeropuertos citados tienen en común

pertenecer al estrato de aeropuertos caracterizado por tener la mayor presencia de las compañías de bajo coste o bien estar especializados en el transporte de mercancías como es el caso de Vitoria.

Tabla 3. Variación en los aeropuertos de la productividad total de factores y de sus componentes entre los años 1992 y 2012. **Fuente:** Elaboración propia.

Aeropuerto	Índice Malmquist de productividad	Cambio en eficiencia técnica	Cambio técnico	Cambio en eficiencia técnica pura	Cambio en eficiencia de escala
Alicante	1,105	1,612	0,686	1,635	0,986
Almería	0,885	1,177	0,752	1,48	0,795
Asturias	0,927	1,302	0,712	1,537	0,847
Barcelona	1,241	1	1,241	1	1
Bilbao	0,998	1,13	0,883	1,105	1,023
A Coruña	0,551	0,784	0,703	0,909	0,862
Fuerteventura	0,626	0,879	0,713	0,97	0,905
Girona	3,37	4,299	0,784	2,729	1,575
FGL Granada	0,776	1,029	0,754	1,202	0,856
El Hierro	0,582	0,614	0,949	1	0,614
Ibiza	1,204	1,437	0,838	1,417	1,014
Jerez de la Frontera	2,256	2,288	0,986	1,513	1,513
Lanzarote	0,805	0,99	0,814	1	0,99
La Palma	0,553	0,657	0,841	0,754	0,872
Gran Canaria	1,009	0,998	1,011	1	0,998
Madrid-Barajas	1,345	1	1,345	1	1
Menorca	0,658	0,812	0,81	0,879	0,924
Málaga-Costa del Sol	1,257	1,302	0,965	1,293	1,007
Melilla	0,409	0,591	0,692	0,973	0,607
Palma de Mallorca	1,074	1	1,074	1	1
Pamplona	1,183	1,541	0,768	1,64	0,94
Reus	0,727	0,659	1,102	0,668	0,988
Murcia-San Javier	1,45	1,826	0,794	1,634	1,117
San Sebastián	3,009	2,59	1,162	1,376	1,883
Tenerife	0,81	0,905	0,895	1	0,905
Santander	1,977	2,968	0,666	2	1,484
Santiago	0,796	1,332	0,598	1,354	0,984
Sevilla	1,475	1,407	1,048	1,344	1,047
Valencia	1,146	1,195	0,959	1,185	1,009
Valladolid	0,945	1,175	0,804	0,981	1,198
Vigo	0,834	1,185	0,704	1,271	0,933
Vitoria	6,934	3,308	2,096	2,557	1,293
Zaragoza	2,56	1	2,56	1	1
Media	1,118	1,230	0,909	1,221	1,008

En relación con el crecimiento de la eficiencia técnica global, bajo rendimientos constantes de escala, los seis aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento durante 1992-2012, expresado en tasa anual de variación, son: Girona (7,56 %); Vitoria (6,16 %); Santander (5,59 %); San Sebastián (4,87 %); Jerez de la Frontera (4,23 %) y Murcia-San Javier (3,06 %). Por lo tanto, cabe concluir que el patrón de crecimiento en relación con la eficiencia técnica global es similar al caso de la variación de la productividad. Asimismo, los seis aeropuertos que experimentan un mayor progreso técnico durante los años 1992 y 2012 son: Zaragoza (4,81 %); Vitoria (3,77 %); Madrid-Barajas-Adolfo Suarez (1,49 %); Barcelona-El Prat (1,09 %); San Sebastián (0,75 %) y Reus (0,49 %). Se observa que los dos aeropuertos que experimentan un mayor progreso técnico -Zaragoza y Vitoria-, están especializados en el transporte de mercancías, lo que puede explicar su mayor progreso tecnológico. Este resultado está en concordancia con las conclusiones de Coto-Millan *et al.* (2016). Asimismo, los dos aeropuertos de mayor tráfico de viajeros -Madrid-Barajas y Barcelona-El Prat- destacan por su elevado progreso tecnológico en 1992-2012.

Finalmente, en relación con el crecimiento de la eficiencia técnica pura, bajo rendimientos variables de escala, los resultados son muy similares a los descritos para el caso del crecimiento de la eficiencia técnica global. Los aeropuertos que experimentan un mayor crecimiento en dicha variable durante 1992-2012, expresado en tasa anual de variación, son: Girona (5,15 %); Vitoria (4,81 %); Santander (3,53 %); Pamplona (2,50 %); Alicante (2,49 %) y Murcia-San Javier (2,49 %). De nuevo, los aeropuertos con mayor tasa de crecimiento pertenecen al estrato de aeropuertos caracterizado por tener la mayor presencia de las compañías de bajo coste (por ejemplo, Girona o Alicante) o bien están especializados en el transporte de mercancías como es el caso de Vitoria.

En resumen, los resultados obtenidos del análisis de la productividad realizado revelan que entre los años 1992 y 2012, los aeropuertos españoles han experimentado un moderado crecimiento de la productividad (11,8 %) que corresponde a una tasa media anual acumulativa del 0,37 %. La descomposición del Índice Malmquist de productividad en la componente de cambio técnico, que representa el desplazamiento de la frontera de eficiencia para el nivel de output de cada empresa, y el cambio en eficiencia técnica, muestra que el crecimiento global de la productividad para el conjunto de aeropuertos de la muestra, se debe exclusivamente al cambio en eficiencia técnica que experimenta un crecimiento del 23,06 %, el cual corresponde a una tasa anual acumulativa de crecimiento de 0,69 %. Además, este importante crecimiento de la eficiencia técnica global a lo largo del periodo analizado se debe prácticamente en exclusiva al cambio en la eficiencia técnica pura (22,1 %), ya que el crecimiento de la eficiencia de escala es marginal (0,08 %).

5. Conclusiones

En este trabajo, utilizando la metodología DEA orientada al input que nos permite estimar los índices Malmquist, se analiza el comportamiento de la productividad y de los distintos tipos de eficiencia productiva en los 33 principales aeropuertos españoles entre los años 1992 y 2012.

A partir del análisis de los resultados obtenidos se concluye que en el periodo 1992-2012 los aeropuertos españoles han experimentado un moderado crecimiento de la

productividad (11,8 %). La descomposición del Índice Malmquist de productividad en la componente de cambio técnico, que representa el desplazamiento de la frontera de eficiencia para el nivel de output de cada empresa, y el cambio en eficiencia técnica, nos muestra que el crecimiento global de la productividad para el conjunto de aeropuertos de la muestra, se debe exclusivamente al cambio en eficiencia técnica que experimenta un crecimiento del 23,06 %. Además, este importante crecimiento de la eficiencia técnica global a lo largo del periodo analizado se debe prácticamente en exclusiva al cambio en la eficiencia técnica pura (22,1 %) ya que el crecimiento de la eficiencia de escala es marginal (0,08 %).

Las medidas de política pública deberían estar encaminadas a la consolidación de las mejoras observadas en la productividad del sistema aeroportuario. Entre otras medidas, cabe señalar las siguientes: (i) mejora de la eficiencia en el funcionamiento de la cadena intermodal de transporte, por ejemplo, en la conexión con el ferrocarril de alta velocidad; (ii) evaluaciones rigurosas de las nuevas inversiones y servicios mediante el correspondiente análisis coste-beneficio; (y iii) un sistema eficiente y eficaz de tasas aeroportuarias.

La investigación futura debería estar encaminada al examen de las relaciones entre las características específicas de cada aeropuerto y las variaciones de su productividad y de sus índices de eficiencia. También sería interesante ampliar esta investigación con el análisis de los cambios producidos en los resultados financieros de los aeropuertos españoles durante el periodo seleccionado.

6. Referencias Bibliográficas

- Charnes, A., Cooper, W.W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 6 (2), 429-444.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., y Tone, K. (2000). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishers, Boston
- Coelli, T.J. (1998). Multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models. *Operational Research Letters*, 23, 143-149.
- Coto-Millán, P., Inglada, V., Casares, P., Badiola, A., Agüeros, M., & Pesquera, M. A. (2014). Small is beautiful? The impact of economic crisis, low cost airlines, and size on efficiency in Spanish Airports (2009-2011)". *Journal of Air Transport and Management*, 40, 34-41.
- Coto-Millán, P., Inglada, V., Fernández, X.L. y Inglada-Perez, L. (2016): The "effect procargo" on technical and scale efficiency at airports: The case of Spanish airports (2009-2011). *Utilities Policy*, 39, 29-35.
- Färe, R., Grosskop, S., Norris, M. & Zhang, Z. (1994): "Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries". *The American Economic Review*, 84 (1), 66-83.
- Färe, R., Grosskop, S. y Roos, P. (1998): "Malmquist productivity indexes: A survey of theory and practice", en Färe, R., Grosskopf, S. y Russell, R. (edits.): *Index numbers: Essays in honor of Sten Malmquist*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

- Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A (General)*, 120 (3), 253–281.
- Forsund, F. R. y Hjalmarsson, L. (1979). Generalised Farrell Measures of Efficiency: An Application to Milk Processing in Swedish Dairy Plants. *Economic Journal, Royal Economic Society*, 89 (354), 294-315.
- Martín, J. C., Román, C. y Voltes-Dorta, A. (2009). A stochastic frontier analysis to estimate the relative efficiency of Spanish airports, *Journal of Productivity Analysis*, 31: 163-176.
- Murillo-Melchor, C. (1999). An analysis of technical efficiency and productivity changes in Spanish airports using the Malmquist index. *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 271-292.
- Oum, T. H., Yu, C., y Fu, X. (2003). A comparative analysis of productivity performance of the world's major airport: summary report of the ATRS global airport benchmarking research report-2002. *Journal of Air Transport Management*, 9, 285–297.
- Salazar, F. (1999). A DEA approach to the Airport production function, *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 255–270.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software*. Springer Verlag, New York.
- Tovar, B. y Rendeiro Martín-Cejas, R., (2009). Are outsourcing and non-aeronautical revenues important drivers in the efficiency of Spanish airports? *Journal of Air Transport Management*, 15, 217–220.
- Tovar, B. y Rendeiro Martín-Cejas, R. (2010). Technical efficiency and productivity changes in Spanish airports: *A parametric distance functions approach*. *Transportation Research E*, 46 (2), 249-260.
- Yoshida, Y. (2004). Endogenous-weight TFP measurement: methodology and its applications to Japanese-airport benchmarking. *Transportation Research E*, 40, 151-182.



Facultad
de Ciencias
Económicas y
Empresariales

Departamento
de Economía
Aplicada y
Estadística



**Revista de Evaluación de
Programas y Políticas Públicas**
JOURNAL OF PUBLIC PROGRAMS AND POLICY EVALUATION

La conectividad en el sector español de carga aérea: 2004-2014

Connectivity in the Spanish air freight transport sector: 2004-2014

Núm. 9 (2017), pp. 113-138

Pais Montes, Carlos*
Freire Seoane, María Jesús**
González Laxe, Fernando***

Recibido: **noviembre, 2016**

Aceptado: **diciembre, 2017**

JEL Clasif: C45, D2, D85, L93

DOI: [10.5944/reppp.9.2017.17590](https://doi.org/10.5944/reppp.9.2017.17590)

*CARLOS PAIS MONTES: Universidade da Coruña. E-mail: carlos.pais.montes@udc.es

**MARÍA JESÚS FREIRE SEOANE: Universidade da Coruña. E-mail: maje@udc.ess

***FERNANDO GONZÁLEZ LAXE: Universidade da Coruña. E-mail: laxe@udc.es

Resumen

El segmento de las aerolíneas de carga, como demandante y usuario de servicios aeroportuarios, ha crecido en las dos últimas décadas hasta convertirse en parte fundamental de la red global de suministro en España. El objetivo de este artículo es analizar la evolución de la conectividad de este modo logístico, en el período 2004-2014, utilizando la base de datos del Observatorio para el Transporte y la Logística de España sobre posiciones aeroportuarias de carga de origen y destino. Los resultados indican que, en los mayores aeropuertos españoles (Madrid, Barcelona, Zaragoza y Vitoria), ha existido una recuperación del volumen de carga operado en los niveles pre-crisis, que no ha ido acompañada, no obstante, de una recuperación en términos de centralidad, con la excepción de Zaragoza, que es la infraestructura que muestra, actualmente, mayor resiliencia y mejores perspectivas en este aspecto..

Palabras clave: transporte aéreo; fletes aéreos; aeropuertos; logística; redes complejas; conectividad; teoría de grafos

Abstract

Air cargo transport segment in airlines, as a petitioner and user of airport services, has grown in the last two decades until being a key part of the global supply network in Spain. The goal of this article is to analyze the evolution of the connectivity of this logistic mode, along the 2004-2014 period, using the database of the Observatory for the Transport and the Logistics in Spain on airport cargo positions of arrival and departure. The results show that, in the biggest Spanish airports (Madrid, Barcelona, Zaragoza and Vitoria), it's been a recovering of the cargo throughput reaching pre-crisis levels, however this has not been accompanied by a recovering in terms of centrality, with the exception of Zaragoza, which stands as the only infrastructure currently showing more resilience and better perspectives in this aspect.

Key Words: air transport; air freights; airports; logistics; complex networks; connectivity; graph theory

1. Introducción

La evolución de los diferentes modos de transporte, en términos de inversión y desempeño, constituye un elemento explicativo de los cambios operados en la economía global (Rietveld & Bruinsma, 2012). En particular, el volumen total de carga aérea internacional representa todavía una proporción pequeña del volumen total mundial (1 % en 2014), pero supone, en cambio, una parte importante en cuanto al valor de las mercancías transportadas (35 % del total) (IATA, 2016). Algunos autores han aproximado el impacto económico de la actividad logística de carga aerotransportada a nivel global, en un aumento del 2,4 % del valor de la mercancía operada por cada punto de incremento en el PIB mundial, en las dos últimas décadas (Smyth & Pearce, 2008), incidiendo, por tanto, en los ingresos tanto de las compañías aéreas como de los organismos de gestión aeroportuaria (Ducker, 2006; Escalona & Ramos, 2010).

Todo ello pone de manifiesto la trascendencia de este modo de transporte, de importancia emergente en las economías desarrolladas (Coyle, 2002), y que registra perspectivas de crecimiento de un 4.7 % interanual en la próxima década (Boeing, 2016).

El panorama logístico español también ha incorporado de modo muy significativo a la carga aérea como elemento central en lo que respecta a la capacidad exportadora/importadora de las empresas nacionales (OTLE, 2016). La gran demanda por parte de empresas que tienen al comercio exterior como principal canal de operación, ha disparado la importancia jerárquica de algunos nodos logísticos, hasta el momento secundarios respecto a la cadena de suministro, como por ejemplo Zaragoza (Pastor, 2014; Escalona & Ramos, 2010) o Vitoria (Ortega, 2015; Centro de Suministro, 2013); y ha complementado, además, el potencial de otros nodos multimodales como Las Palmas de Gran Canaria.

Pero, como ya ha quedado sólidamente establecido en lo relativo al transporte marítimo (Ducruet & Notteboom, 2012; Pais-Montes *et al.*, 2012), el análisis del desempeño de los nodos logísticos debe incluir, no solo el seguimiento estadístico del volumen total de mercancías movidas anualmente, sino también una cuantificación de la influencia que esas posiciones ostentan en la red global definida por la cadena de suministro.

El presente trabajo desarrolla, por primera vez, esta metodología, para la red de vínculos incidentes en los diferentes nodos de carga aérea españoles a lo largo del período 2004-2014, con el objetivo de determinar cuantitativamente la jerarquía aeroportuaria de carga, no solo en términos de *throughput* anual, sino también en lo que respecta a la influencia (centralidad) de esos mismos nodos.

Los resultados indican que, en los mayores aeropuertos españoles (Madrid, Barcelona, Zaragoza y Vitoria), ha existido una recuperación del volumen de carga operado en los niveles pre-crisis, que no ha ido acompañada, no obstante, de una recuperación en términos de centralidad, con la excepción de Zaragoza, que es la infraestructura que muestra, actualmente, mayor resiliencia y mejores perspectivas en este aspecto.

2. Antecedentes teóricos

2.1. La carga aerotransportada: aspectos operacionales

Coyle (2002) afirma que el transporte aéreo se ha convertido en el sector de mayor crecimiento dentro del mercado de la carga, debido, fundamentalmente a la posibilidad de recorrer grandes distancias a velocidades considerables, a la gran escalabilidad en términos de capacidad de aumento de frecuencias y a las ratios de puntualidad. Estas tres características están directamente correlacionadas con los requisitos asociados a las pistas de aterrizaje, los equipamientos de las mismas y los requerimientos específicos de las operativas necesarias de trasvase intermodal. El control de estos elementos es clave a la hora de reducir los retrasos y los problemas de congestión (Wong y Wong, 2002). En este sentido, Pejovic *et al.* (2009) y Cook (2009) estiman que las demoras, sea cual sea la causa, implican muy elevados e imprevisibles costes asociados al consumo, a la tripulación, y a los costes marginales de mantenimiento. Las condiciones climatológicas adversas, según Abdelghany (2004), son el origen del 75 % de los retrasos con respecto al *schedule* programado, y son causa de numerosas pérdidas en la capacidad máxima transportable, convirtiéndose, obviamente, en la mayor restricción de los aeropuertos (Schaefer y Millner, 2001).

En relación a la consecución de una estructura eficiente de costes, es preciso resaltar que los avances tecnológicos en aviónica, los nuevos procesos de fabricación y las economías de escala, han permitido una convergencia en términos de asequibilidad en precio y flete. Y aunque este aspecto, siga constituyendo una barrera para muchos cargadores, la reducción paulatina y continua de los costes, sumado al incremento de la calidad en el servicio, de la seguridad y de la frecuencia, permiten caracterizar a este modo de transporte como altamente competitivo con respecto al resto de opciones logísticas; de ahí la trascendencia de la elección de los centros de distribución de las aerolíneas (Martín y Román, 2004).

No son ajenos, tampoco, aquellos aspectos relacionados con las operaciones de control del tráfico aéreo, es decir, el número de aeronaves que se deben gestionar en un mismo espacio aéreo y los patrones de prioridad existentes en este campo (Dillinham, 2005). Dentro de la operativa técnica, Cao y Kanafani (2000) han estudiado la limitación de la capacidad de las pistas de aterrizaje y Takebayashi (2011) ha analizado la relación entre la dinámica de las aerolíneas logísticas en cuanto a las estrategias que siguen para maximizar capacidad de carga y pistas útiles.

La planificación de las terminales y su intersección con otros flujos de mercancías y con la tipología de los productos transportados, es decir, la especialización de las cargas, son también factores a tener en consideración; de la misma manera que lo constituyen las necesidades de almacenaje y consolidación de las cargas (Lee *et al.*, 2006). En particular, la disponibilidad de contenedores aéreos es un elemento básico que contribuye a reducir los costes y a optimizar la capacidad de transporte de las aeronaves, contribuyendo, por tanto, a la consolidación de los centros de conexión (“hubs”) (Wu, 2010; Lu & Chen, 2010; Amaruchkul y Lorchirachoonkul, 2011).

Asimismo, es preciso tener en consideración la estrategia comercial de las aerolíneas. En este aspecto son muy clarificadores los trabajos de Mueller y Chatterji (2002) que

analizan los errores de las compañías en sus tácticas operativas; o los de Wu (2005) que evalúa la desorganización estocástica de las compañías aéreas.

Rong y Grunow (2009) son los primeros investigadores que prestaron atención a las operaciones de carga aerotransportada desde un punto de vista de estrategia espacial. En su trabajo se postula que es necesario introducir cambios vinculados con la estructura de los operadores de tierra, en el sentido de deslindar de manera correcta tanto la organización del trabajo como la productividad de los operadores. En el mismo sentido, Schmitdberger *et al.* (2009) establecen que la competencia entre operadores de tierra, dentro de las terminales de carga, es necesaria y básica para lograr una mayor eficiencia y mejorar los niveles de competitividad. Chi-Lok y Zhang (2009) afirman que la ubicación de los aeropuertos posee un fuerte impacto en sus niveles de eficiencia, y que la existencia de uno o más competidores no debe ser considerada como problema, en la medida en que una mayor competencia contribuye a aumentar los flujos y a mejorar la eficiencia. En relación a la dimensión adecuada de los aeropuertos, Chow y Fung (2009) establecen que las economías de escala consiguen retroalimentar el transporte de pasajeros con el transporte de carga y viceversa, admitiendo que es posible generar flujos de carga asociados a los flujos de pasajeros; aunque es preciso determinar tanto los niveles de congestión de los propios aeropuertos y los niveles de rentabilidad de las inversiones efectuadas para ambos fines.

Por otro lado, la mejora de las informaciones entre agentes también fue objeto de tratamiento en relación a la productividad. Los estudios de Hsu *et al.* (2005) y de Chang y Wang (2010) buscan reivindicar la minimización del tiempo necesario en las operaciones de tierra y en implementar un sistema de monitorización de la carga, con objeto de dinamizar el flujo de información, mejorando la trazabilidad y el seguimiento de mercancías.

2.2. La geografía internacional del transporte aéreo de carga

El último informe sobre transporte aéreo del Banco Mundial muestra cómo la reactivación económica se traslada también a los niveles de tráfico aéreo, tanto en lo que respecta al número de pasajeros como al volumen de carga (World Bank Group, 2015), con una repercusión en el PIB mundial cercana al 3,4 % y, además, con un gran impacto en los puestos de trabajo generados: 58,1 millones de empleos alrededor de 1.400 compañías aéreas y 4.000 aeropuertos.

A nivel microeconómico, se constata la creación de grandes alianzas entre las compañías aéreas de carga y la exigencia de aeropuertos con grandes zonas logísticas, con fuertes relaciones con las economías del entorno y capaces de integrarse en redes mundiales de servicios (Li *et al.*, 2015; van Vliet, 2011; Gardiner *et al.*, 2005).

Las principales rutas se estructuran, fundamentalmente, a lo largo de ejes horizontales situados en el hemisferio norte (figura 1), aunque, en el último decenio, emergen los flujos en el hemisferio sur y en el continente asiático (IATA, 2016). Teniendo en cuenta la carga total transportada en millones toneladas (MTm) y la distancia recorrida en Km entre el origen y el destino (Tm-Km), las mayores previsiones de crecimiento se corresponden con el comercio «Intra China» (10,9 %), «Medio Oriente-Europa» (9,5 %) y «Europa-Nordeste Asia» (6,2 %), mientras que los mayores retrocesos en la tasa de variación se esperan para Intra Norteamérica (del 9,1 % en 2001-2010 al -1,5 % previsto para 2011-2020), Europa-Norteamérica (del 8,9 % al 1,5 %) y Asia-Norteamérica (del 20,3 % al 4,3 %).

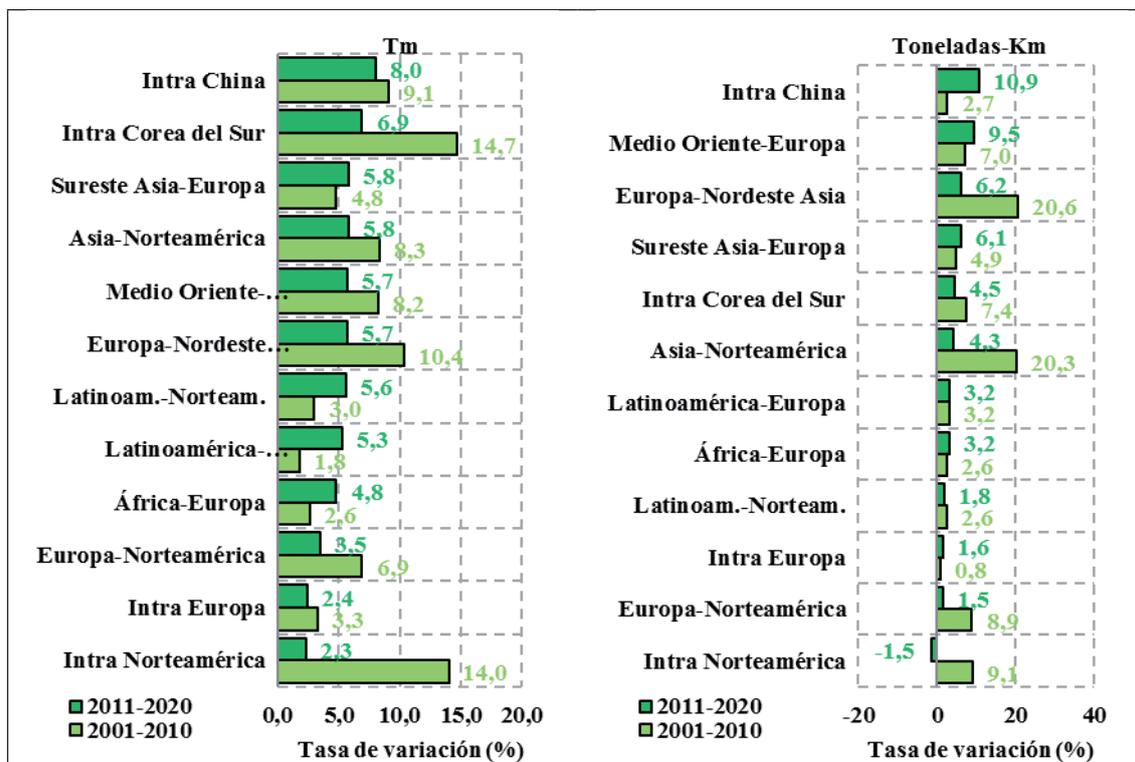


Figura 1. Evolución del volumen de carga aerotransportada por zonas mundiales (2001-2010) y previsión 2011-2020. Tm y Tm-km. Ordenación según previsión 2011-2020.

Fuente: IATA (2016)

El transporte mundial de carga lo efectúan tanto compañías específicamente dedicadas a los servicios logísticos (FedEx, UPS, Korean Cargo, Cathay Pacific, Cargo Lux) como aerolíneas que, hasta el momento, han tenido al transporte de viajeros como línea principal de negocio (Lufthansa, KLM, Singapore Airlines, Emirates, China Airlines) (figura 2). Las compañías que más crecen entre 2005 y 2015, en términos de toneladas transportadas por Km recorridos (figura 2) son Qatar Airways (486 %), Airbridge Cargo (418 %), China Southern (181 %), Polar Air Cargo (126 %), Emirates (121 %), Etihad Airlines (121 %) y All Nippon Cargo (104 %); mientras que en el primer cuartil de tasa de variación, es decir, en la zona de mayor decrecimiento de carga, se sitúan Air France (-44 %), KLM (-25 %), Singapore Airlines (-23 %), Eva Airlines (-21 %), Korean Air (-19 %), Lufthansa (-17 %) y China Airlines (-15 %).

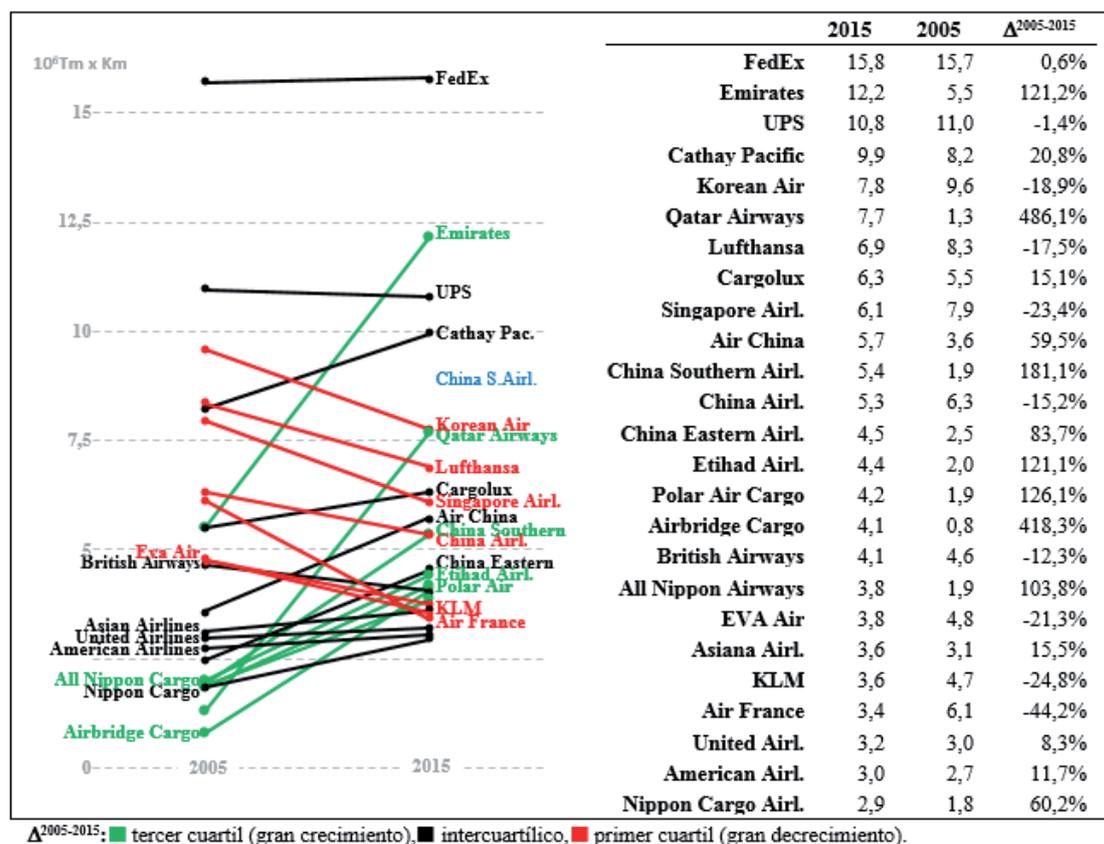


Figura 2. Ranking 2005-2015 de las principales compañías aéreas de carga: Millones de Tm x Km. Fuente: IATA (2016).

En los aeropuertos asiáticos y europeos domina el tráfico de carga general, mientras que en los norteamericanos se ha incorporado el tráfico urgente y el courier internacional. La ubicación en Memphis (Tennessee, EEUU) de la compañía Federal Express -FedEx- y la localización en tres aeropuertos europeos (París, Frankfurt y Amsterdam) de la sede de los hubs de Air France, Lufthansa y KLM, respectivamente, son señales claras de la aparición de un fuerte proceso de concentración espacial de los flujos internacionales de carga aerotransportada.

Los niveles de especialización también son notables, como en los casos de la conurbación Colonia-Bonn (Alemania) y en East Midlands (Gran Bretaña) por sus importantes tráfico intra-europeos. Dicha especialización está bien motivada por los requisitos técnicos y tecnológicos a la hora de albergar y permitir la circulación de grandes aeronaves de carga, de realizar servicios con agilidad y puntualidad, y cumplir las normas de seguridad en las áreas de carga/descarga (Neibergeer, 2008).

Los cambios en las posiciones del ranking (figura 3) y su especialización vienen motivados por las organizaciones espaciales de los flujos de carga. Y estas se derivan de las dinámicas de inestabilidad de las propias redes productivas globales, y de las tensiones de competencia entre los diversos agentes que intervienen en la prestación de servicios de carga (Neibergeer, 2008). Los aeropuertos emergentes en términos de crecimiento del volumen de mercancías operado a lo largo del período 2005-2015 son Doha (que crece un 147%), Beijing (141%), Guangzhou (104,933%), Dubai (90%), Shanghai (76%), Shenzhen

(58 %), Abu Dhabi (53 %), Tokyo-Haneda (46 %) y Hong Kong (29 %), es decir, exclusivamente, *hubs* chinos y de Oriente Medio. En cambio, los aeropuertos que se sitúan en el cuartil más bajo de tasa de crecimiento son New York-JFK (-22 %), Newark (-21 %), Osaka-Kansai (-12 %), Indianápolis (-8 %), Tokyo-Narita (-7 %), Los Angeles (0 %), Anchorage (0 %), Atlanta (1 %), Singapore (1 %) y Chicago-O Hare (2 %), es decir, fundamentalmente nodos estadounidenses.

Por último, las frecuentes reestructuraciones y los cambios en las compañías modifican el panorama. Las perspectivas siempre fueron optimistas (Clancy y Hoppin, 2006), salvo cuando se ven afectadas por otros factores extremos y complejos como los derivados del precio y disponibilidad del petróleo, fluctuaciones de las divisas, evolución de acuerdos bilaterales, políticas de cielo abierto, desequilibrios en los flujos del comercio internacional, inestabilidad política de ciertos países o regiones y aspectos vinculados al impacto medioambiental del transporte aéreo.

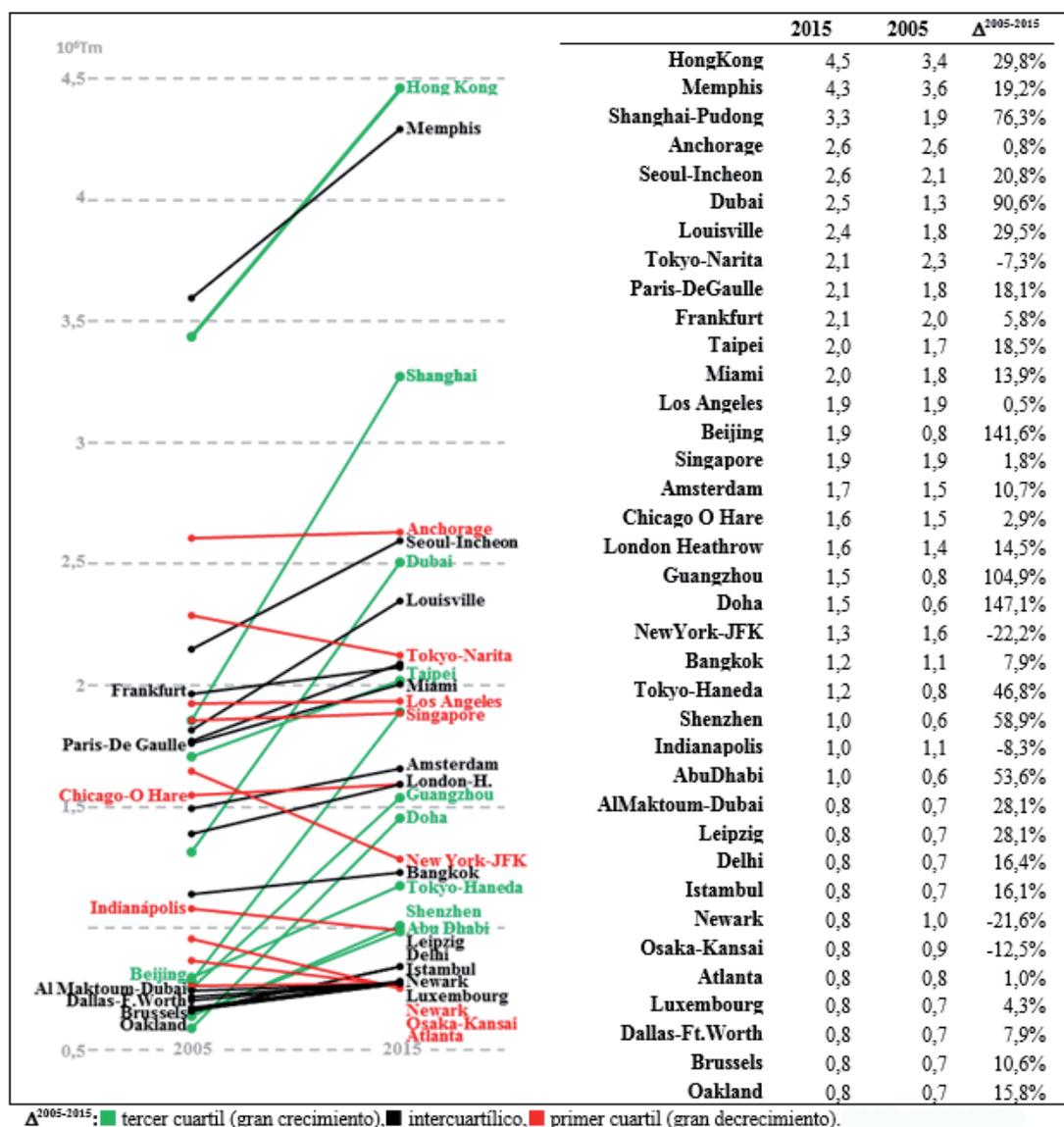


Figura 3. Ranking 2005-2015 de los principales aeropuertos de carga del mundo: Millones de Tm. Fuente: IATA (2016).

2.3. Características de la oferta y la demanda

Las características de la oferta han contribuido a modificar la economía de las compañías aéreas históricas a favor de los operadores de bajo coste y de los transportistas del Golfo Pérsico. Estos nuevos actores han condicionado, en los últimos años, tanto a los aeropuertos regionales como a las plataformas *hub*.

Por otro lado, la puesta en práctica de las denominadas «libertades aéreas», es decir, las dinámicas de liberalización de los servicios de transporte aéreo (Zhang & Zhang, 2002), la emergencia de nuevos nichos de mercado, la nueva concepción logística de la cadena de suministro en el siglo XXI, y la puesta en marcha de la revolución *low-cost*, han contribuido no solo a la aparición de nuevos actores, sino también a democratizar el medio del transporte aéreo.

Entre las nuevas pautas de dicha reconversión, se encuentra la enorme demanda procedente de los nuevos países instalados en los Emiratos del Golfo, que han dirigido sus inversiones de cara a un posicionamiento en esta actividad con la idea de ubicarse en una situación geográfica ideal entre Europa y Asia. La creación de *hubs*, la prestación de servicios de calidad con tarifas competitivas, y la conversión en punto de escala cerca de los grandes centros comerciales, han acelerado su presencia en el top de la economía mundial.

2.3.1. Funciones de oferta

Los aspectos técnicos determinan las circunstancias y las posibilidades de transportar mercancías en las bodegas de los aviones o en los aviones cargueros específicos. Dependen, pues, de las características del aparato, de las distancias hasta el aeropuerto de destino, de las condiciones de la pista del aeropuerto de origen, y del peso máximo de despegue en función de las condiciones meteorológicas y la longitud de la pista.

Varias características de las funciones de oferta a corto plazo son: la «inamovilidad» de las infraestructuras, que no permite aprovechar sus activos en ubicaciones distintas; las elevadas inversiones de capital inicial para la puesta en marcha; y la indivisibilidad de sus activos, que revela la presencia de costes hundidos.

La presencia de barreras de entrada, tanto de carácter estructural (orografía, climatología) como legales (limitaciones urbanísticas) o medioambientales (presencia próxima de hábitats naturales o espacios urbanos) limitan su implantación.

La proporción de costes fijos es elevada, próxima al 90 % (Thelle, 2012), lo que condiciona la operatividad económica de los mismos. Se necesitan economías de escala y existe un amplio debate en torno a los umbrales mínimos y la existencia de las des-economías externas (Müller *et al.*, 2005; Forsyth, 2010; Lechmann, 2011).

Desde la perspectiva del transporte aéreo las compañías operan en forma de redes complejas, basadas en el concepto *hub&spoke* (Bowen, 2012). Es decir, existe un reducido número de nodos con muchas conexiones directas, y una amplia población de nodos secundarios con un número bajo de conexiones. Las rutas de alimentación son cortas y se construyen en torno a los hubs más conectados.

Las compañías operan con sus propias flotas de aviones, aunque también se dan casos de *chartering* y la coexistencia de aviones cargueros puros con aviones donde las mercancías se combinan con las operaciones mixtas pasajero-carga, en el que la carga es un subproducto del transporte en la ruta predeterminada.

2.3.2. Funciones de demanda

Las funciones de demanda están sujetas a circunstancias específicas y a características propias de esta modalidad logística: a) la carga aérea no regresa, por lo que existen unos desequilibrios direccionales en las rutas, que pueden llegar a ser significativos; b) las cargas pueden ser muy heterogéneas, de distinta naturaleza, volumetría, densidad y seguridad; c) la existencia de servicios competitivos por parte de otros transportes alternativos (tráfico rodado y transporte marítimo).

Ya se ha visto, además, cómo la demanda de transporte aéreo de carga está relacionada con el crecimiento económico internacional, con los precios del combustible, y con los propios patrones de la cadena de suministro. Del mismo modo, existen unos costes de oportunidad logística, que se traducen en la cuantificación de las ventajas competitivas con respecto a otros modos de transporte.

Tradicionalmente, los aeropuertos han sido considerados como infraestructuras fijas en donde, aerolíneas por un lado, y empresas de servicios, por otro, desarrollan modelos de negocio distintos y a la vez complementarios. Los aeropuertos tratan de satisfacer a los clientes, que están integrados en cadenas de suministro globales, con lo que se obtiene, pues, una verticalidad procedimental en la estos tratan de prestar su servicio de manera distinta a las aerolíneas, y estas a los consumidores. Este fenómeno se denomina *two-sided markets*, o mercados multiplataforma (CNMC, 2014). En ellos, el volumen de transacciones depende de ciertos factores relacionados con la interdependencia de ambos lados (vínculo reticular bidireccional entre los nodos). Los aeropuertos se sitúan en una posición intermedia entre los grupos de clientes y los prestatarios de servicios, y sus perspectivas están delimitadas por: las posibilidades de negocio vinculadas al logro de rentabilidades; el aumento de la cuota de mercado y la eficiencia; y, por último, por la utilización positiva de las infraestructuras y equipamientos. En suma, el sector aeroportuario se enfrenta a una demanda dual e interdependiente: la compuesta por las aerolíneas y la formada por los pasajeros.

3. Metodología

Las perspectivas contemporáneas sobre el estudio de la evolución de la carga transportada por cualquier medio logístico, no solo tienen en cuenta la variación en el volumen operado por un nodo a lo largo de un determinado período temporal, sino que añaden una perspectiva bidimensional que incluye las relaciones que establecen entre sí los nodos, es decir un análisis de redes complejas (Hesse y Rodrigue, 2004). Esto posibilita la delimitación de jerarquías nodales no solo en términos de volumen anual, sino también en lo que respecta a la influencia local/regional/global del nodo logístico, que podría ser muy distinta a lo que su rango en términos de *total throughput* pudiera estar sugiriendo (Pais-Montes *et al.*, 2012).

En el caso concreto de las redes comerciales de transporte aéreo de mercancías, se dispone a través de OTLE (2016b) del total cargado y descargado en cada nodo x_i , así como de los nodos de procedencia y de destino, para el período 2004-2014. Esto posibilita, por tanto, la construcción de grafos dirigidos G^t en base a los datos de oferta y demanda proporcionados por OTLE (2016b) para cada año, que incluyen vínculos dirigidos (x_i, x_j) de dos naturalezas distintas [1]: aeropuertos españoles (46 nodos x_i^{esp})

y agregados geográficos internacionales (9 nodos x_i^{agr} : Unión Europea Schengen -UE1-, Unión Europea no Schengen -UE2-, Europa no Unión Europea Schengen -EU1-, Europa no Unión Europea no Schengen -UE1-, Africa -AF-, América del Norte -AN-, América Latina y Caribe -AL-, Asia y Pacífico -AS-, y Oriente Medio -OR-) [2]. El peso de cada nodo representa las Tm cargadas y descargadas anualmente, mientras que el peso del vínculo dirigido representa las Tm que se transportan de un nodo a otro.

Con esta configuración inicial, queda posibilitado un análisis de la conectividad para cada nodo basado en los siguientes parámetros:

a) Grado (“Gra”, “Degree Centrality”): número de vínculos incidentes (dirección de llegada o salida) en un nodo, i.e., dada la matriz de adyacencia $A(G^t)_{ij}$, $grado(x_i) = \sum_i A(G^t)_{i \cdot} + \sum_{\cdot} A(G^t)_{\cdot i}$

b) Cercanía (“Cer”, “Closeness Centrality”): inversa del promedio de todas las distancias geodésicas -distancias más cortas entre ese y otro nodo arbitrario de la red- (Newman, 2008). Cuanto más grande es este parámetro, más corta es la distancia entre ese nodo y cualquier otro nodo arbitrario y, por tanto Cer puede ser interpretado como un indicador de lo eficiente que es un nodo a la hora de distribuir mercancía hacia otros nodos (Okamoto *et al.*, 2008).

c) Intermediación (“Inf”, “Betweenness Centrality”): suma de las proporciones con las que un nodo intermedia a rutas arbitrarias pasando por ese nodo (Brandes, 2008), i.e. $Int(x_i) = \sum_{x_j, x_k} \frac{\#\{\overline{\text{geodésica}(x_j, x_i, x_k)}\}}{\#\{\overline{\text{geodésica}(x_j, x_k)}\}}$

El parámetro es, por tanto, una medida de la influencia que el nodo x_i ejerce sobre el flujo de información, en el sentido de que una petición arbitraria de origen-destino tiene más probabilidades de pasar por x_i cuanto más Inf tenga (Newman, 2008).

d) Centralidad de autovalor (“Autv”, “Eigenvector Centrality”): el mayor autovalor del espacio de autovectores de la matriz de adyacencia (Bonacich, 2007), i.e. $Autv(x_i) = \max_{\lambda} \{\lambda \in \mathbb{R} \text{ t.q. } \lambda x_i = \sum_j A(G^t)_{ij} x_j\}$.

Esta definición puede ser interpretada como una suma ponderada de las posiciones que se conectan con a nodo, donde las rutas de mayor longitud son penalizadas con pesos menores. Por lo tanto, esta medida permite complementar la información obtenida a través de la centralidad de grado, cercanía e intermediación, con la caracterización de una nueva jerarquía, útil para discriminar si esa centralidad se produce con respecto a nodos influyentes o de menor importancia (Bonacich, 2007; Ruhnau, 2000; Franceschet, 2014).

La estructura de conectividad de cada red G^t puede ser caracterizada a nivel global, además de por los estimadores puntuales usuales de la media y el Índice de Gini, por los siguientes indicadores adicionales: densidad del grafo, o razón entre el número real y el máximo de aristas posibles (Johns, 2012); modularidad, o fracción de aristas que pueden ser agrupadas en un número determinado de sub-grafos (Newman, 2006), i.e., número de comunidades de sub-grafos con alta conexión entre sus nodos y baja conectividad inter-comunitaria; diámetro, o mayor distancia entre dos nodos arbitrarios de la red (Biskup, 2011); coeficiente promedio de clusterización (Average Clustering Coefficient), o promedio de la fracción de vecinos conectados para cada nodo, lo que indica, por tanto, la cohesión local de cada nodo (Barrat *et al.*, 2004); y Longitud Media de Camino (Average Path Length), o distancia promedio entre todos los puntos del nodo (Chen *et al.*, 2008).

La posterior transformación de los grafos G^t calculados para cada año en árboles mínimos de expansión \hat{G}^t (Yaman *et al.*, 2001) posibilita el cálculo de rutas de coste mínimo. Éstas simulan la perspectiva de un ficticio operador logístico global, que actúa exclusivamente sobre el sistema de carga aeroportuaria español, y que necesitaría planificar una estructura inicial óptima, en cuanto a los costes del transporte, para el año en que la operación comienza. Para la estimación de los costes logísticos entre dos nodos, se puede considerar a la inversa del volumen total de carga transportada entre esas dos posiciones como una aproximación funcional válida del coste del transporte, siguiendo las indicaciones de Limão y Venables (2001), Zohil y Prijon (1999) y Bougheas *et al.* (1999).

Por otro lado, a falta de una concreción computacional fiable para el algoritmo Chu-Liu-Edmonds (McDonald *et al.*, 2005; Clerot, 2015), que calcula el árbol mínimo de expansión en grafos dirigidos, y dado que se verifica el test χ^2 de cuasi-simetría para la matriz de adyacencia (Sharp y Markham, 2000), es decir, que el volumen de mercancía cargada es de magnitud similar al de mercancía descargada; se puede optar por el algoritmo clásico de Kruskal para grafos no dirigidos (Kruskal, 1956) utilizando la herramienta Tulip (Bourqui *et al.*, 2008).

El árbol mínimo de expansión para cada año representa, en consecuencia, la estructura reticular óptima para la red de transporte aéreo de mercancías en España y posibilita la interpretación global del sistema logístico en términos de nodos influyentes y nodos periféricos, no solo desde el punto de vista de la conectividad, sino también en lo que respecta a la optimalidad de la estructura de costes sugerida por los vínculos privilegiados por el algoritmo de Kruskal.

4. Conectividad y estructura mínima de costes

La tabla 1 presenta los resultados obtenidos al calcular las tres redes de transporte aéreo de mercancías, para los 46 nodos españoles y los 9 nodos agregados que contienen la información de conectividad de los aeropuertos españoles con otros países, de acuerdo con la información disponible en OTLE (2016) (el significado de las abreviaturas figura en el Anexo 1).

Es importante destacar que los nodos con un volumen de mercancías menor a 0,1MTm en 2014 han sido excluidos del cuadro pero no del análisis de red. Los aeropuertos se pueden clasificar por orden decreciente de magnitud de carga: GRO (0,09MTm); LCG (0,08); OVD y VDE (0,07); VLL (0,02); PNA, LEI, ABC y XRY (0,01); y, por último, con menos de 0,01MTm GRX, RGS, SDR, EAS, GMZ, REU, MJV, BJZ, RJL, LEN, SLM, JCU, TOJ, MCV, QSA Y AEI. También es importante señalar que en el cuadro tampoco aparecen los agregados internacionales: han sido tenidos en cuenta para la construcción de la red, como elementos para los que OTLE (2016b) define conexiones válidas de origen/destino con los nodos españoles, pero sus parámetros individuales de conectividad y de volumen de carga operada (.UE1 con 156MTm, .AL con 112, .OR con 94, .AN con 87, .AS con 41, .EU2 con 35, .UE2 con 23, .AF con 11 y .EU1 con 5) no pueden ser tenidos en cuenta en el análisis debido a la imposibilidad formal de determinar la interrelación entre ellos.

El análisis de los parámetros globales de red en los tres años analizados (2004, 2009 y 2014) arroja una visión dinámica de la evolución general del sistema aeroportuario de

carga español. Atendiendo, en primera instancia, al volumen promedio anual de carga, se observa cómo la Gran Recesión tuvo un impacto importante, pasando de 18,8MTm en 2004 a 17,7 en 2009, recuperando posteriormente niveles superiores a los 20MTm en 2014. El estancamiento del indicador de Gini en el período 2004-2014 sugiere que ese aumento en el volumen promedio de mercancías no se ha llevado a cabo en terminales aeroportuarias emergentes, sino en otras con actividad ya consolidada.

Los nodos más importantes (MAD, BCN, ZAZ) experimentan (al contrario que el resto de aeropuertos con más de 0,1MTm operadas) una mejoría en el volumen de carga operada, pero esto no se traduce en una mejora de la conectividad en las terminales aeroportuarias españolas, lo que puede estar indicando problemas de ineficiencia en las infraestructuras existentes. De este modo, el grado promedio (conectividad directa) se mantiene en 20 para el 2004 y el 2009, pero cae drásticamente hasta 16 unidades en 2014, lo que quiere decir que los nodos aéreos de mercancías españoles han perdido vínculos en una media de 4 conexiones comerciales (-2,1 % de variación interanual). Además, en el resto de estimadores de centralidad se producen caídas en el indicador: -0,9 % en la cercanía, -1,5 % en la influencia y -1,5 % en la centralidad de autovalor. Esta pérdida de conectividad generalizada en el sistema aeroportuario español se traduce en el descenso de la clusterización promedio (que pasa de 0,655 en 2009 a 0,504 en 2014), lo que indica una red menos cohesionada; y en la proliferación de sub-comunidades (4 en 2004, 7 en 2009 y 10 en 2014) lo que refuerza la hipótesis de la pérdida generalizada de relevancia de los principales hubs de carga aérea españoles.

En cuanto al comportamiento concreto de los principales nodos en lo que respecta a la evolución de su centralidad: MAD (365MTm en 2014) reduce su conectividad directa en un -0,6 % (bajando desde 82 unidades en 2004 a 77 en 2014 —i.e. pérdida de conexiones directas con 5 nodos-), aunque consigue mejorar su capacidad de intermediación (*Inf* pasa de 532 unidades en 2004 a 581 en 2014), lo que indica que si bien la capacidad de conexión con los nodos más cercanos se ha visto mermada, desde el punto de vista comercial, la influencia con respecto a posiciones más lejanas ha aumentado ligeramente; BCN (102MTm en 2014) muestra, en cambio, una pérdida de centralidad desde todos los puntos de vista, i.e., pierde conexiones directas, pierde cercanía y capacidad de intermediar rutas regulares; el nodo de ZAZ (86MTm en 2014), principal hub de carga emergente a lo largo del período 2004-2014, es el único que muestra una evolución positiva en los principales indicadores de centralidad excepto en el autovalor (-3,1 %, el valor más bajo de la serie para 2014), lo que no es necesariamente negativo, pudiendo ser interpretado como una evolución muy positiva en términos de expansión de su área comercial de influencia, con una preferencia para dirigir el negocio hacia nodos todavía no demasiado saturados y alejarse de los aeropuertos más transitados (lo que constituye una ventaja en términos de la falta de operadores competidores en esos hubs); por último, el nodo VIT, cuarta posición aeroportuaria en volumen de mercancías movidas, muestra una disminución en todos los parámetros de conectividad, especialmente acusada en el parámetro de autovalor, lo que ha de ser interpretado inequívocamente como una señal de que se ha perdido, de modo brusco, una línea de negocio que, hasta el momento, era vital para los resultados de este aeropuerto.

Es posible mencionar, no obstante, algún caso de éxito para el sistema analizado, en puertos con menor volumen de operaciones: IBZ (2,6MTm en 2014) que muestra, a pesar de la caída en el *throughput* del -3,6 %, una gran agilidad a la hora de captar/distribuir

mercancía de/hacia nuevos clientes, con el mayor aumento interanual del grado (1,1 %) y el segundo mayor aumento de la centralidad de autovalor (0,8 %), lo que implica que esa mejora en la conectividad se dirige, además, hacia aeropuertos influyentes; FUE (0,9MTm en 2014) que consigue evoluciones muy favorables en la centralidad, sobre todo en la influencia (su capacidad de intermediar entre otras rutas de nodos importantes -1,5 % de crecimiento en la centralidad de autovalor- se ha potenciado desde las 0,3 unidades en 2004 hasta 2,2 en 2014). Es preciso, no obstante, introducir en esta evaluación positiva, la condición de posiciones insulares y, por tanto, la elevada dependencia de este tipo de transporte para estas demarcaciones geográficas [8].

*Ver **Tabla I** en la siguiente página

Tabla I. Parámetros de conectividad para la red española de transporte aéreo de mercancías ordenados por MTm en 2014, nodos con más de 0,1MTm operadas en 2014). **Fuente:** OTLE (2014) y elaboración propia.

X _i	2004					2009					2014					VAR(2004,2014)				
	MTm	Gra	Cer	Inf	Autv	MTm	Gra	Cer	Inf	Autv	MTm	Gra	Cer	Inf	Autv	MTm	Gra	Cer	Inf	Autv
MAD	340,0	82	0,84	532,6	1,00	302,6	83	0,88	489,0	1,00	365,3	77	0,88	581,1	1,00	0,7	-0,6	0,5	0,9	0,0
BCN	86,7	75	0,80	427,0	0,94	91,5	78	0,89	361,3	0,94	102,7	64	0,78	255,7	0,93	1,9	-1,5	-0,3	-4,0	0,0
ZAZ	9,3	22	0,50	5,2	0,54	36,9	30	0,56	16,8	0,62	86,6	23	0,56	18,6	0,37	83,5	0,5	1,1	25,7	-3,1
VIT	44,0	32	0,57	18,6	0,58	27,4	34	0,59	29,1	0,54	41,9	25	0,57	17,6	0,45	-0,5	-2,2	-0,1	-0,5	-2,3
LPA	40,8	44	0,63	131,8	0,71	28,5	47	0,65	111,0	0,76	24,6	37	0,62	68,1	0,66	-4,0	-1,6	-0,1	-4,8	-0,7
TFN	24,6	32	0,58	83,1	0,52	15,4	42	0,67	88,4	0,52	13,7	29	0,58	123,3	0,53	-4,4	-0,9	-0,2	4,8	0,2
VLC	11,0	45	0,65	67,2	0,69	10,9	52	0,71	87,5	0,77	12,8	40	0,64	44,3	0,70	1,6	-1,1	-0,2	-3,4	0,2
PMI	21,4	56	0,72	135,9	0,75	17,5	51	0,67	85,6	0,80	11,3	40	0,66	50,6	0,66	-4,7	-2,9	-0,9	-6,3	-1,3
SVQ	4,7	37	0,61	33,6	0,63	-5,0	37	0,62	23,6	0,57	5,6	28	0,57	15,5	0,58	1,8	-2,4	-0,7	-5,4	-0,7
TFS	9,5	40	0,60	31,1	0,71	5,4	37	0,62	13,7	0,65	3,4	30	0,58	32,8	0,60	-6,4	-2,5	-0,5	0,5	-1,4
BIO	4,3	36	0,62	23,2	0,61	2,7	33	0,60	9,6	0,60	2,9	29	0,59	15,2	0,58	-3,3	-1,9	-0,5	-3,4	-0,4
ALC	5,9	31	0,58	10,0	0,57	3,2	30	0,58	10,6	0,53	2,7	26	0,59	8,4	0,50	-5,5	-1,6	0,1	-1,6	-1,3
IBZ	4,0	18	0,52	2,0	0,40	2,8	20	0,55	2,0	0,37	2,6	20	0,55	3,0	0,43	-3,6	1,1	0,5	4,9	0,8
AGP	6,7	44	0,66	195,2	0,64	3,5	42	0,64	137,2	0,66	2,5	32	0,61	82,8	0,54	-6,3	-2,7	-0,7	-5,8	-1,6
MAH	3,4	18	0,53	46,4	0,39	2,6	17	0,53	0,5	0,37	2,3	15	0,53	0,4	0,34	-3,2	-1,7	0,2	-9,9	-1,2
SCQ	4,8	26	0,55	3,2	0,54	2,0	28	0,57	6,8	0,52	2,1	25	0,55	6,0	0,53	-5,6	-0,4	0,0	8,6	-0,2
ACE	7,6	26	0,55	7,3	0,53	4,0	34	0,61	13,5	0,53	2,0	26	0,58	10,3	0,53	-7,4	0,0	0,6	4,1	0,1
FUE	3,6	15	0,51	0,3	0,35	1,9	24	0,56	3,6	0,47	0,9	16	0,54	2,2	0,40	-7,4	0,7	0,6	76,9	1,5
SPC	1,6	15	0,52	13,4	0,27	1,1	17	0,53	1,2	0,33	0,6	10	0,53	1,1	0,19	-6,6	-3,3	0,3	-9,2	-2,8
VGO	1,0	22	0,53	5,1	0,43	0,8	24	0,54	10,3	0,52	0,5	15	0,53	8,1	0,32	-5,7	-3,2	0,0	5,8	-2,6
MLN	0,4	8	0,48	2,3	0,12	0,4	6	0,49	0,5	0,14	0,1	4	0,48	0,0	0,10	-6,6	-5,0	0,0	-10,0	-1,9

Parámetros globales de red

E[x_i]	18,8	20	0,46	39,4	0,35	17,7	20	0,47	33,4	0,36	22,7	16	0,44	32,3	0,31	2,1	-1,8	-0,6	-1,8	-1,2
Gini	0,839	0,498	0,221	0,843	0,416	0,839	0,506	0,237	0,853	0,419	0,842	0,543	0,269	0,863	0,47	0,0	0,9	2,2	0,2	1,3
Nodos	55	Modularidad	0,030	Nodos	55	Modularidad	0,182	Nodos	55	Modularidad	0,233									
Aristas	550	Comunidades	4	Aristas	569	Comunidades	7	Aristas	452	Comunidades	10									
Diám.	4	ACC	0,601	Diám.	3	ACC	0,655	Diám.	4	ACC	0,504									
Dens.	0,185	APL	1,886	Dens.	0,192	APL	1,815	Dens.	0,152	APL	1,878									

■ >Percentil⁹⁵, ■ >Percentil⁸⁵, ■ <Percentil¹⁵, Dens.=«Densidad», Diám.=«Diámetro», ACC=«Coeficiente medio de clusterización (Average Clustering Coefficient)», APL=«Longitud media de camino (Average Path Length)».

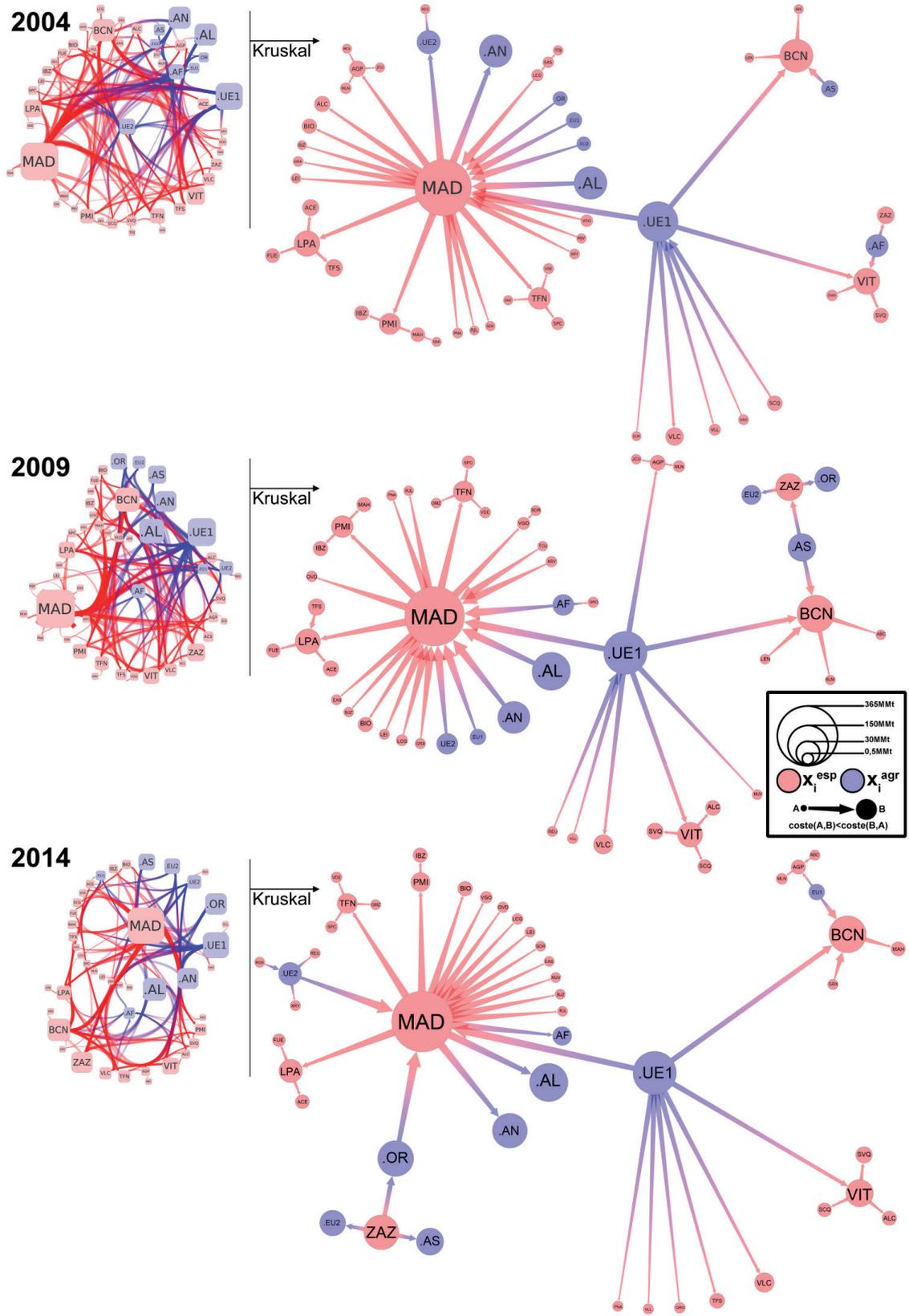


Figura 4. Evolución del transporte aéreo de mercancías en España: red y algoritmo de Kruskal.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 4 muestra la visualización de las tres redes construidas para el análisis. Se parte, como se ha indicado en la metodología, de la red general de 55 nodos y 452-550 aristas construida con los datos de OTLE (2014) para cada año, utilizando una metodología force-directed o de separación (Holten y Van Wijk, 2009) de tipo Balloon-OGDF (Lin y Yen, 2007; Carriere y Kazman, 1995). Para cada estructura global se calcula el sub-grafo resultante de la aplicación del algoritmo de Kruskal utilizando Tulip (Lambert y Aubert, 2012), obteniendo un recubrimiento para todos los nodos que minimiza los costes del transporte entre dos nodos. El algoritmo permite, además, discriminar la dirección de la arista cuyo coste es menor.

Con la información disponible se pueden realizar dos tipos de consideraciones: una con respecto a la estructura global de red y otra con respecto a la evolución de los sub-grafos obtenidos a través de la aplicación del algoritmo de Kruskal.

Atendiendo a las estructuras globales de red, se pueden observar los siguientes comportamientos:

- MAD se constituye como hub de reparto prioritario únicamente en 2014, atrayendo gran parte de la actividad internacional, en detrimento de BCN, aeropuerto sometido a una severa caída en la conectividad que pierde el sólido clúster consolidado a lo largo de 2009.
- .AF, a pesar de su todavía discreto indicador de *throughput*, consigue situarse en posiciones centrales en la red, tanto en 2009 como en 2014, atrayendo tráfico de multitud de nodos situados en diferentes posiciones.
- AGP ha pasado de ocupar una posición central con respecto a un amplio clúster en 2004, a situarse en posiciones periféricas de baja conectividad en 2009 y 2014.

Los sub-grafos obtenidos a través de la aplicación del algoritmo de Kruskal a las estructuras de separación permiten afirmar que:

- La arista MAD-.UE1 sigue siendo el eje sobre el que se sostiene y articula la actividad completa de la red logística en su conjunto. La estructura de costes es más favorable para las importaciones desde .UE1 que para las exportaciones hacia ese agregado.
- BCN pierde el vínculo con .AS que mantenía en 2004 (de modo exclusivo) y en 2009 (donde ya empieza a compartirlo con ZAZ). En 2014, el aeropuerto de BCN ya solo es relevante a nivel .EU1 e Islas Baleares.
- ZAZ adquiere un estatus de clúster independiente del resto de nodos de la red centralizando el abastecimiento procedente de/dirigido desde .OR, .EU2 y .AS. La dirección de los vínculos del clúster zaragozano sugiere una muy favorable configuración de costes para la actividad de exportación con origen en ZAZ.
- A pesar de haber perdido su conexión con .AF (crisis de las importaciones pesqueras), el aeropuerto de VIT mantiene su papel de hub distribuidor entre .UE1 y SVQ-SCQ-ALC.
- .AN y .AL siguen privilegiando las conexiones con MAD, pero en 2004 la estructura de costes era favorable a las exportaciones a .AN e importaciones desde .AL; en 2009 los costes son más favorables para las operaciones de importación; y en 2014, en cambio, los vínculos más rentables son los de exportación desde MAD.

5. Conclusiones

El segmento de las aerolíneas de carga, como demandante y usuario de servicios aeroportuarios, ha crecido en las dos últimas décadas hasta convertirse en parte fundamental de la red global de suministro.

Análogamente a otros modos de transporte, la actividad de carga aérea tiene un impacto positivo sobre las variables macroeconómicas de su zona de influencia (*hinterland*) y, en particular, sobre el panorama logístico español ha supuesto un elemento adicional importante para determinadas operaciones de importación/exportación que, hasta el momento, no encontraban el soporte más adecuado.

Los tres actores sobre los que pivota toda la operación de carga aerotransportada son tres: los cargadores, las aerolíneas especializadas, y como interfaz de comunicación, las infraestructuras aeroportuarias. Cada una de estas tres dimensiones forma parte de las variables independientes de la función de oferta, que integran a la totalidad de factores que definirán el precio final de la operación de transporte aéreo.

A nivel internacional, la mejor evolución de la carga aerotransportada se detecta en las líneas de abastecimiento que conectan al Este de Asia con el *European Backbone*, con la importante emergencia de Oriente Medio como eslabón intermedio de *transshipment* aéreo.

El análisis de los parámetros de conectividad de la red compleja formada por las conexiones que los nodos aeroportuarios de carga españoles establecen entre sí, y con respecto a los grandes agregados geoeconómicos mundiales, contribuye a clarificar la situación actual del espacio logístico de carga aerotransportada. De este modo, más allá de las cifras anuales de volumen movido de mercancías, es crucial situar a los aeropuertos en su contexto reticular, lo que es posible dada la determinación que el Observatorio del Transporte y la Logística en España, organismo dependiente del Ministerio de Fomento, ha realizado en los nodos aeroportuarios españoles de llegada y de salida a lo largo del período 2004-2014. Esto permite construir una matriz de adyacencia dirigida que incluye el peso en Tm transportado desde el origen al destino.

El análisis cuantitativo de la centralidad de red (grado, cercanía, influencia y autovalor) indica que, a pesar de que, en promedio, el sistema español ha aumentado su volumen neto de mercancías movidas, la conectividad directa (grado) del nodo aeroportuario promedio ha decrecido, de 20 unidades en 2004 a 16 unidades en 2014. Esto no debería de ser preocupante, si la concentración de la actividad logística aerotransportada redundase en una ventaja competitiva, pero el descenso en el resto de parámetros de red (cercanía, influencia y autovalor) indica, claramente, que la pérdida de conexiones directas, en promedio, ha venido acompañada de un importante decremento en la influencia de los nodos, es decir, los *hubs* importantes han perdido relevancia en la red global de suministro, y los nodos poco conectados no se han significado lo suficiente como para ser calificados de emergentes.

En particular, MAD registra un aumento del 0,7 % en el volumen de carga movida desde 2004 a 2014, y es el único caso que, habiendo perdido conectividad directa, consigue mantener esa pérdida bajo control. Incluso aumenta ligeramente su capacidad de llegar a otros nodos (cercanía) y su influencia regional. El diagnóstico es, pues, de recuperación sólida.

BCN, también ha conseguido aumentar en un 1,9 % el volumen de mercancías movido pero, en este caso, la evolución de la centralidad resulta adversa en términos de conectividad directa (-1,5 %), cercanía (-0,3 %) e influencia (-4,0 %). El diagnóstico es, pues, de una moderada pérdida de centralidad.

El caso de ZAZ reviste más matices en el análisis cuantitativo de sus parámetros de red. La explosión en el volumen de mercancías movido se cifra en un 83,5 % de aumento entre 2004 y 2014. Consigue valores positivos de evolución en la conectividad directa (0,5 %), y extremadamente favorables en lo que respecta a la evolución de la cercanía (1,1 %) e influencia regional (25,7 %). El valor extremo para la evolución de la centralidad de autovalor (-3,1 %), actúa en este caso como ventaja competitiva, al señalar que la extraordinaria evolución de este aeropuerto de carga se ha realizado, además, con respecto a nodos emergentes con respecto a la cadena global de suministro. El diagnóstico es, claramente, de un puerto con una evolución extremadamente exitosa.

Por último, el nodo de VIT, presenta una evolución adversa en todos los parámetros analizados: en evolución neta del volumen de mercancías movidas (-0,5 %), grado (-2,2 %), cercanía (-0,1 %), influencia (-0,5 %) y, sobre todo, de centralidad de autovalor (-2,3 %). En el caso de este último parámetro, los valores negativos de grado, cercanía e influencia necesariamente implican una cierta disfunción en la estrategia comercial de alguno de los actores implicados: cargadores, aerolíneas o infraestructuras aeroportuarias.

El análisis cualitativo de la estructura de red obtenida, una vez aplicado el algoritmo de Kruskal (para determinar las rutas óptimas más importantes en términos de coste) y separado el sistema mediante un algoritmo *force-directed*, permite complementar el análisis cuantitativo de los parámetros de red. MAD sigue siendo el hub de reparto prioritario para los operadores, atrayendo gran parte de la actividad internacional, excepto en lo referente a los nodos asiáticos, Oriente Medio y los países de la Europa del Este no pertenecientes al espacio Schengen (ex-Yugoslavia, Ucrania, Bielorrusia, Rumanía, Bulgaria y Moldavia), que han desarrollado un vínculo comercial prioritario con ZAZ. La pérdida de influencia de BCN, a favor de ZAZ, se puede apreciar en la total desvinculación de los tráficos asiáticos con respecto a este nodo aeroportuario, operada de modo gradual en los tres años analizados (2004, 2008, 2014).

En conclusión, las metodologías de análisis de redes complejas, extendidas en otras modalidades logísticas como el transporte por carretera o el transporte marítimo, también proporcionan una visión complementaria a la de la mera contabilidad del volumen anual de mercancías, situando a los aeropuertos de acuerdo a su centralidad, dentro del sistema reticular que conforma la red global de suministro. Queda pendiente, desde un punto de vista científico, la tarea de la integración de todos los modos logísticos para profundizar en mayor medida en la estructura de las funciones de oferta y demanda y, por tanto, en la comprensión del proceso de conformación del precio del transporte.

6. Referencias

- Abdelghany, K. F., Shah, S. S., Raina, S., & Abdelghany, A. F. (2004). A model for projecting flight delays during irregular operation conditions. *Journal of Air Transport Management*, 10(6), 385-394.

- Amaruchkul, K., & Lorchirachoonkul, V. (2011). Air-cargo capacity allocation for multiple freight forwarders. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(1), 30-40.
- Barrat, A., Barthelemy, M., Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2004). The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(11), 3747-3752.
- Biskup, M. (2011). Graph diameter in long-range percolation. *Random Structures & Algorithms*, 39(2), 210-227.
- Boeing World Air Cargo Forecast. (2016). Recuperado el 16 de noviembre de 2016, de <http://www.boeing.com/commercial/market/cargo-forecast/>
- Bougheas, S., Demetriades, P. O., & Morgenroth, E. L. (1999). Infrastructure, transport costs and trade. *Journal of International Economics*, 47(1), 169-189.
- Bourqui, R., Gilbert, F., Sharan, U., Simonetto, P., & Zaidi, F. (2008). VAST 2008 Challenge: Social network dynamics using cell phone call patterns. In *IEEE symposium on visual analytics science and technology*.
- Bowen, J. T. (2012). A spatial analysis of FedEx and UPS: hubs, spokes, and network structure. *Journal of Transport Geography*, 24, 419-431.
- Cao, J. M., & Kanafani, A. (2000). The value of runway time slots for airlines. *European Journal of Operational Research*, 126(3), 491-500.
- Carriere, J., & Kazman, R. (1995). Research report. interacting with huge hierarchies: beyond cone trees. In *Information Visualization, 1995. Proceedings.* (pp. 74-81). IEEE.
- Centro de Suministro (2013). *El tráfico de mercancías en el aeropuerto de Vitoria*. Recuperado de <http://www.cadenadesuministro.es/noticias/el-trafico-de-mercancias-en-el-aeropuerto-de-vitoria-crece-un-76-en-agosto-y-alcanza-las-2-497-toneladas/>
- Chang, Y. H., & Wang, Y. C. (2010). Significant human risk factors in aircraft maintenance technicians. *Safety science*, 48(1), 54-62.
- Chen, F., Chen, Z., Wang, X., & Yuan, Z. (2008). The average path length of scale free networks. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 13(7), 1405-1410.
- Chi-Lok, A. Y., & Zhang, A. (2009). Effects of competition and policy changes on Chinese airport productivity: An empirical investigation. *Journal of Air Transport Management*, 15(4), 166-174.
- Chow, C. K. W., & Fung, M. K. Y. (2009). Efficiencies and scope economies of Chinese airports in moving passengers and cargo. *Journal of Air Transport Management*, 15(6), 324-329.
- Clancy, B., & Hoppin, D. (2006). Stead climb merger global forecast accelerating intercontinental air freight demand growth through 2010. *American Shipper*, 7, 64-87

- Clerot, F. (2015). *Do you have a Chu Liu Edmonds Minimum Spanning Tree for Python?*. Recuperado de https://www.researchgate.net/post/Do_you_have_a_Ch_u_Liu_Edmonds_Minimum_Spanning_Tree_for_Python
- CNMC. (2014). *Informe de la CNMC sobre el sector aeroportuario español: situación actual y recomendaciones de liberalización*. Recuperado de https://www.cnmc.es/Portals/0/Notas_%20de_%20prensa/20140703_Estudio_aeroportuario_%20integrado.pdf
- Cook, A., Tanner, G., Williams, V., & Meise, G. (2009). Dynamic cost indexing—Managing airline delay costs. *Journal of air transport management*, 15(1), 26-35.
- Coyle, J.J., Bardi, E.J. & Langley, C.J. (2002). *The management of business logistics: a supply chain perspective*. Nashville (TN): Southwestern Publishing Group.
- Dillingham, G. L. (2005). Initiatives to reduce flight delays and enhance capacity are ongoing but challenges remain. *United States Government Accountability Office*
- Ducker, M. (2006). *Air cargo: enabling access to the global marketplace*. XXXIII Air Cargo Forum and Exposition, TIATA, Calgary.
- Ducruet, C., & Notteboom, T. (2012). The worldwide maritime network of container shipping: spatial structure and regional dynamics. *Global Networks*, 12(3), 395-423.
- Escalona, A. & Ramos, D. (2010). Geografía productiva y flujos internacionales: el crecimiento de la carga aérea en el aeropuerto de Zaragoza. *Anales de Geografía*, 30(2), 59-80.
- Forsyth, P. (2006). Airport competition: regulatory issues and policy implications, in D. Lee (ed.). *Advances in Airline Economics. Vol. 1. Competition Policy and Antitrust*. Bingley (UK): Emerald Group Publishing Limited
- Gardiner, J., Ison, S., & Humphreys, I. (2005). Factors influencing cargo airlines' choice of airport: An international survey. *Journal of Air Transport Management*, 11(6), 393-399.
- Hesse, M., & Rodrigue, J. P. (2004). The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of transport geography*, 12(3), 171-184.
- Holten, D., & Van Wijk, J. J. (2009, June). Force-Directed Edge Bundling for Graph Visualization. In *Computer graphics forum* (Vol. 28, No. 3, pp. 983-990). New jersey: Blackwell Publishing Ltd.
- Hsu, C. I., LIAO, P., YANG, L. H., & CHEN, Y. H. (2005). High-tech firms' perception and demand for air cargo logistics SERVICES. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 2868-2880.
- IATA Air Cargo. (2016). Recuperado el 16 de noviembre de 2016, de <http://www.iata.org/whatwedo/cargo/Pages/index.aspx>

- Johns, A. (2012). *What is graph density?*. Recuperado de <https://www.quora.com/What-is-graph-density>
- Kruskal, J. B. (1956). On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem. *Proceedings of the American Mathematical society*, 7(1), 48-50.
- Lambert, A., & Auber, D. (2012). Graph analysis and visualization with Tulip-Python. In *EuroSciPy 2012-5th European meeting on Python in Science*.
- Lechmann, M. (2011). *Economies of scale and scope and its application to the airport industry*. Münster: Westfälische Wilhelms Universität
- Lee, C., Huang, H. C., Liu, B., & Xu, Z. (2006). Development of timed Colour Petri net simulation models for air cargo terminal operations. *Computers & industrial engineering*, 51(1), 102-110.
- Li, Q., Hu, J., Hu, Z., & Hao, Y. (2015). Development Strategies of the Cargo Transshipment Hub of Shanghai Pudong Airport in Free Trade Zone. In *LISS 2014* (pp. 1419-1423). Berlin: Springer
- Li, Z., Xu, M., & Shi, Y. (2015). Centrality in global shipping network basing on worldwide shipping areas. *GeoJournal*, 80(1), 47-60.
- Limao, N., & Venables, A. J. (2001). Infrastructure, geographical disadvantage, transport costs, and trade. *The World Bank Economic Review*, 15(3), 451-479.
- Lin, C. C., & Yen, H. C. (2007). On Balloon Drawings of Rooted Trees. *J. Graph Algorithms Appl.*, 11(2), 431-452.
- Lu, H. A., & Chen, C. Y. (2011). A time–space network model for unit load device stock planning in international airline services. *Journal of Air Transport Management*, 17(2), 94-100.
- Martín, J. C., & Román, C. (2004). Analyzing competition for hub location in intercontinental aviation markets. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(2), 135-150.
- McDonald, R., Pereira, F., Ribarov, K., & Hajič, J. (2005, October). Non-projective dependency parsing using spanning tree algorithms. In *Proceedings of the conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing* (pp. 523-530). Association for Computational Linguistics.
- Mueller, E. & Chatterji, G. (2002). *Analysis of Aircraft Arrival and Departure Delay Characteristics*, AIAA's Aircraft Technology, Integration, and Operations (ATIO) 2002 Technical Forum, doi:10.2514/6.2002-5866
- Müller, J., Kamp, V., Niemeier, H. M., Bruche, G., Herr, H., Nagel, F., & Ripsas, S. (2005). Can we learn from benchmarking studies of airports and where do we want to go from here?. *Working Papers No 28*, Berlin: Berlin School of Economics and Law, Institute of Management Berlin

- Neibergeer, C. (2008). The effects of deregulation, changed customer requirements and new technology on the organisation and spatial patterns of the air freight sector in Europe. *Journal of Transport Geography*, 16(4), 247-256.
- Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 103(23), 8577-8582.
- Ortega, F. (2016). *Gen Air: carga aérea*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/camaradealava/gen-air-carga-area-francisco-ortega>
- OTLE (2016). *Informe Anual 2015*, Madrid.
- OTLE (2016b). *Consultas de la base de datos y mapas*. Recuperado de http://observatoriotransporte.fomento.es/OTLE/LANG_CASTELLANO/BASEDATOS/
- Pais-Montes, C., Freire-Seoane, M. J., & Gonzalez-Laxe, F. (2012). General cargo and containership emergent routes: A complex networks description. *Transport Policy*, 24, 126-140.
- Pastor, J.H. (2014). *Inditex revoluciona el aeropuerto con otro récord de mercancías*. Recuperado de http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/temadia/inditex-revoluciona-aeropuerto-otro-record-mercancias_973556.html
- Pejovic, T., Noland, R. B., Williams, V., & Toumi, R. (2009). A tentative analysis of the impacts of an airport closure. *Journal of Air Transport Management*, 15(5), 241-248.
- Rietveld, P., & Bruinsma, F. (2012). *Is transport infrastructure effective?: transport infrastructure and accessibility: impacts on the space economy*. Springer Science & Business Media.
- Rong, A. & Grunow, M. (2009). Shift design for freight handling personal at air cargo terminals. *Transportation Research, part E*, 45, 725-739.
- Schaefer, L., & Millner, D. (2001). Flight delay propagation analysis with the detailed policy assessment tool. In *Systems, Man, and Cybernetics, 2001 IEEE International Conference on* (Vol. 2, pp. 1299-1303). IEEE.
- Schmidberger, S., Bals, L., Hartmann, E., & Jahns, C. (2009). Ground handling services at European hub airports: development of a performance measurement system for benchmarking. *International Journal of Production Economics*, 117(1), 104-116.
- Sharp, W. E., & Markham, T. (2000). Quasi-symmetry and reversible Markov sequences in sedimentary sections. *Mathematical Geology*, 32(5), 561-579.
- Smyth, M. & Pearce, B. (2008). Air Travel Demand. *IATA Economic Briefing, n° 9*, Montreal: IATA
- Takebayashi, M. (2011). The runway capacity constraint and airlines' behavior: Choice of aircraft size and network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(3), 390-400.

- Thelle, M.H. (2012). *Airport Competition in Europe*. Copenhagen: Copenhagen Economics
- van Vliet, N.S.C. (2011). *Air cargo alliances: walking on a thin line: a study on the impact of air cargo alliances* (tesis). Recuperada de dspace.ou.nl/bitstream/1820/3705/1/MWNSCvVlietmei2010.pdf
- Wong, C. K., & Wong, S. C. (2002). Lane-based optimization of traffic equilibrium settings for area traffic control. *Journal of advanced transportation*, 36(3), 349-386.
- World Bank Group. (2015). *Air Transport: annual report*. Recuperado de <http://pubdocs.worldbank.org/en/184421457963482031/2015-Air-Transport-Annual-Report-OFVLR-10MAR16.pdf>
- Wu, C. L. (2005). Inherent delays and operational reliability of airline schedules. *Journal of Air Transport Management*, 11(4), 273-282.
- Wu, Y. (2010). A dual-response forwarding approach for containerizing air cargoes under uncertainty, based on stochastic mixed 0-1 programming. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 152-164.
- Yaman, H., Karaşan, O. E., & Pınar, M. Ç. (2001). The robust spanning tree problem with interval data. *Operations Research Letters*, 29(1), 31-40.
- Zhang, A., & Zhang, Y. (2002). Issues on liberalization of air cargo services in international aviation. *Journal of Air Transport Management*, 8(5), 275-287.
- Zohil, J., & Prijon, M. (1999). The MED rule: the interdependence of container throughput and transhipment volumes in the Mediterranean ports. *Maritime Policy & Management*, 26(2), 175-193.

Anexo 1

.AF :Africa
.AL :América Latina
.AN :América del Norte
.AS :Asia-Pacífico
.EUI : Europa no Unión Europea sí Schengen
.EU2 : Europa no Unión Europea no Schengen
.OR : Oriente Medio
.UEI : Unión Europea Schengen
.UE2 : Unión Europea no Schengen
ABC :Albacete
ACE : Lanzarote
AEI :Algeciras
AGP : Málaga
ALC :Alicante
BCN : Barcelona-El Prat
BIO : Bilbao
BJZ :Badajoz
EAS : San Sebastián
FUE : Fuerteventura
GMZ : Gomera (La)
GRO : Girona
GRX : Granada
IBZ :Ibiza
JCU : Ceuta
LCG : Coruña (A)
LEI :Almería
LEN : León
LPA : Gran Canaria
MAD : Madrid-Barajas
MAH : Menorca
MCV : Cuatro Vientos
MJV : Murcia
MLN : Melilla
OVD :Asturias
PMI : Palma de Mallorca
PNA : Pamplona
QSA : Sabadell
REU : Reus
RGS : Burgos
RJL : Logroño
SCQ : Santiago
SDR : Santander
SLM : Salamanca
SPC : Palma (La)
SVQ : Sevilla
TFN : Tenerife-Norte
TFS : Tenerife-Sur
TOJ : Torrejón
VDE : Hierro (El)
VGO :Vigo
VIT :Vitoria
VLC :Valencia
VLL :Valladolid
XRY : Jerez de la Frontera
ZAZ : Zaragoza

Notas:

[1] La propuesta de sistemas reticulares heterogéneos en logística del transporte, tal y como se plantea a partir de los datos de OTLE (2016b) puede resultar controvertida, pero ya hay autores que usan esta metodología de agregación parcial de forma satisfactoria, como Li *et al.* (2015).

[2] La matriz de adyacencia del grafo G^t , por tanto, es de la forma

$$A(G^t) = \begin{pmatrix} \|\overrightarrow{(\text{esp}_1, \text{esp}_1)}\| & \dots & \|\overrightarrow{(\text{esp}_1, \text{esp}_{46})}\| & \|\overrightarrow{(\text{esp}_1, \text{agr}_1)}\| & \dots & \|\overrightarrow{(\text{esp}_1, \text{agr}_9)}\| \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \|\overrightarrow{(\text{esp}_{46}, \text{esp}_1)}\| & \dots & \|\overrightarrow{(\text{esp}_{46}, \text{esp}_{46})}\| & \|\overrightarrow{(\text{esp}_{46}, \text{agr}_1)}\| & \dots & \|\overrightarrow{(\text{esp}_{46}, \text{agr}_9)}\| \\ \|\overrightarrow{(\text{agr}_1, \text{esp}_1)}\| & \dots & \|\overrightarrow{(\text{agr}_1, \text{esp}_{46})}\| & & & \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \theta & \\ \|\overrightarrow{(\text{agr}_9, \text{esp}_1)}\| & \dots & \|\overrightarrow{(\text{agr}_9, \text{esp}_{46})}\| & & & \end{pmatrix}$$