



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas

Trabajo Fin de Grado

METODOLOGÍA DEA: APLICACIÓN AL SECTOR AEROPORTUARIO ESPAÑOL

Alumno: Sergio Díaz Ruiz

Mayo, 2017

Índice

Resumen y abstract	3
Capítulo 1. Introducción	5
Capítulo 2. El sector aeroportuario español.....	6
2.1 Introducción histórica	7
2.2 El sector aeroportuario.....	7
2.3 Gestión del sector aeroportuario	11
2.4 Proceso de privatización de AENA	12
2.5 Servicios y situación económica-financiera de AENA.....	13
Capítulo 3: Marco conceptual y metodológico.....	16
3.1 Concepto de eficiencia.....	17
3.2 Tipos de eficiencia	17
3.3 Técnicas de evolución de la eficiencia.....	21
3.4 Análisis envolvente de datos.....	22
3.5 Enfoques	24
3.6 Ventajas e inconvenientes.....	26
Capítulo 4: Análisis empírico	28
4.1 Descripción de la muestra.....	29
4.2 Caracterización del modelo utilizado	31
4.2.1 Modelo rendimientos constantes de escala (CCR).....	32
4.2.2 Modelo rendimientos variables a escala (BCC).....	32
4.3 Selección de las variables	33
4.4 Resultados	35
4.5 Grupos de referencia.....	38
Capítulo 5. Conclusiones.....	40
Bibliografía.....	43

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Evolución de pasajeros.....	8
Gráfico 2. Evolución AENA en el año 2016.....	14
Gráfico 3. Frontera de posibilidades de producción.....	17
Gráfico 4. Desplazamiento de la frontera de posibilidades de producción.	18
Gráfico 5. Curva de indiferencia	19
Gráfico 6. Frontera de posibilidades de producción y curva de indiferencia	20
Gráfico 7. Eficiencia dinámica	21
Gráfico 8. Representación de la frontera en términos de rendimientos constantes.....	25
Gráfico 9. Resultados en base al modelo CCR.....	36
Gráfico 10. Resultados en base al modelo BCC.....	36
Gráfico 11. Coeficiente de correlación de Pearson	37

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Evolución mensual de los aeropuertos españoles en 2016	10
Cuadro 2. Servicios prestados por AENA	14
Cuadro 3. Servicios comerciales AENA 2016	15
Cuadro 4. Variación de pasajeros, operaciones y carga de 2016 respecto 2015.	15
Cuadro 5. Características de los aeropuertos en 2015 (1)	29
Cuadro 6. Características de los aeropuertos en 2015 (2)	30
Cuadro 7. Variables utilizadas para la aplicación DEA	33
Cuadro 8. Valores de inputs y outputs seleccionados	34
Cuadro 9. Datos estadísticos de los inputs y outputs.....	34
Cuadro 10. Resultados finales	35
Cuadro 11. Unidades eficientes y porcentajes.....	37
Cuadro 12. Grupos de referencia.....	38
Cuadro 13. Aeropuertos más referenciados.....	39

Resumen

El presente trabajo consiste en un análisis de eficiencia de los aeropuertos españoles. La elección del sector se basa en su importancia estratégica, siendo un elemento clave para el crecimiento de la economía, al facilitar la conexión de nuestro país con el resto del mundo.

Además, España es uno de los países con mayor volumen de turismo internacional, siendo el transporte aéreo el más utilizado. De ahí que cuente con una de las redes más grandes del mundo y con mayor calidad gestionada por AENA, la empresa gestora de los 48 aeropuertos españoles.

Para la medición de la eficiencia, se empleará la metodología DEA (análisis envolvente de datos). El software utilizado para la conclusión de los resultados será DEA SOLVER.

Abstract

This project revolves around an analysis of efficiency of the Spanish airports. The choice of the sector is based on its strategic importance, being a key element for the growth of the economy, facilitating the connection of our country with the rest of the world.

In addition, Spain is one of the countries with the largest volume of international tourism, with air transport being the most used. Hence, it has one of the largest and highest quality networks managed by AENA, the management company of the 48 Spanish airports.

For the measurement of efficiency, the DEA methodology (data immersion analysis) will be used. The software used for the conclusion of the results will be DEA SOLVER

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Introducción

La libre circulación de las personas por todo el ámbito europeo es una de las ventajas que ofrece pertenecer a la Unión Europea, lo cual se suma el flujo extracomunitario creciente de pasajeros. Ello ha favorecido un avance y expansión del sector aéreo tanto en Europa como en España, provocando una gran competitividad entre aeropuertos a nivel nacional e internacional en el siglo XXI.

En este contexto este trabajo abordará el estudio y medición de la eficiencia de los aeropuertos españoles en base a una metodología no paramétrica denominada DEA (análisis envolvente de datos).

Se abordará, en primer lugar, con una breve descripción del sector aeroportuario español, que nos aproximará a su conocimiento. En el siguiente capítulo, se explicará la metodología empleada para la medición de la eficiencia de los aeropuertos.

En el capítulo cuarto, se detallarán cuáles han sido las variables seleccionadas para la aplicación de la metodología, diferenciando inputs y outputs y las diferentes versiones de la metodología usada (BCC y CCR) que nos permitirá calcular los valores de eficiencia técnica global y eficiencia técnica pura. Asimismo, se aplicará el software informático denominado DEA Solver, con el fin de arrojar los índices de eficiencia de cada uno de los aeropuertos, además de otra información que se usará para complementar la investigación.

Las conclusiones finales serán explicadas en el último capítulo, concluyendo con ellas la investigación de la medición de la eficiencia del sector aeroportuario español.

**CAPÍTULO 2. EL SECTOR
AEROPORTUARIO ESPAÑOL**

2.1 Introducción histórica

La historia del transporte aéreo se remonta al año 1700, con el invento del globo aerostático. Los hermanos Montgolfier fueron sus inventores y constituyó el único medio para surcar los cielos durante dos siglos más. En 1906 el inventor rumano Traian Vuia creó y logró que volara el primer avión autopulsado más pesado que el aire.

Tras la Segunda Guerra Mundial los transportistas aéreos comerciales recibieron un mayor impulso gracias a que los propulsores de los aviones se hicieron más grandes y eficientes.

Un avance importante tuvo lugar en 1958 con la inauguración, por parte de las líneas aéreas británicas y estadounidenses, del avión a reacción para el transporte comercial. Además se fabricó en 1970, el Boeing 747, el llamado reactor Jumbo, que podía trasladar desde 360 hasta más de 500 pasajeros en vuelos regulares.

España es uno de los países donde más se ha desarrollado el transporte aéreo, tanto para vuelos nacionales como para los internacionales. En el caso de los vuelos nacionales, los primeros se realizaban para las relaciones entre los territorios insulares de Baleares y Canarias con la Península, mientras que en el caso los vuelos internacionales, los primeros vuelos fueron entre Latinoamérica y los países europeos.

Los hechos que han sido claves para el gran crecimiento en este sector en España han sido dos, en primer lugar, España es un gran destino turístico mundial y en segundo lugar, la gran apertura del comercio de todo el mundo.

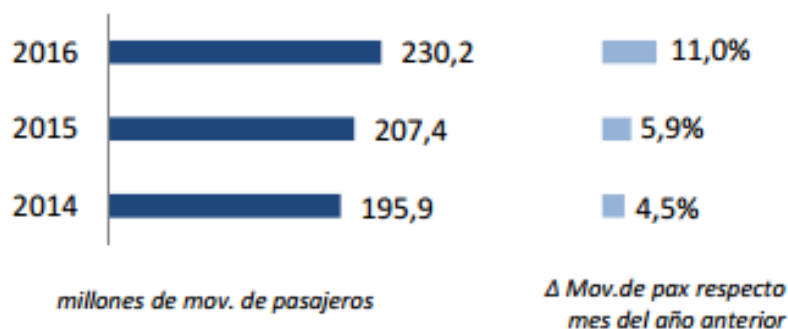
2.2 El sector aeroportuario

El sector aeroportuario es uno de los que mayores tasas de crecimiento han presentado en las últimas décadas según la International Air Transport Association (2013) con cifras anuales medias cercanas al 5% mundial. Su importancia no viene determinada solo por sus importantes cifras económicas sino que también es importante por el impacto social, ya que el transporte aéreo se le categoriza como el único medio de transporte actual capaz de conectar de forma inmediata todo el mundo siendo un elemento fundamental para el turismo. Se estima que el 35% de los turistas internacionales a nivel mundial viajan a través de este medio de transporte. Según la

Organización de Aviación Civil Internacional (2016) el sector aéreo transportó 230 millones de pasajeros, lo que supuso el aumento de 11% en 2016.

El tráfico creció en casi 23 millones de pasajeros respecto a 2015, como se muestra en el gráfico 1.

Gráfico 1. Evolución de pasajeros



Fuente: Subdirección General de Transporte, (2016, p.1).

El transporte aéreo es el más regulado del mundo, gracias al importante convenio de Chicago de 1944. A raíz de la II Guerra Mundial, la mayoría de los países del mundo se suscribieron y sentaron las bases de las regulaciones del transporte aéreo.

El servicio de transporte aéreo se puede clasificar en dos tipos: regular (las líneas aéreas están sujetas a itinerarios, horarios y frecuencias, independientemente de la demanda que posean) y servicios no regulares.

El rápido desarrollo del transporte aéreo en los últimos años, en paralelo con lo que ocurre en los países más avanzados de nuestro entorno, es uno de los elementos más característicos de la evolución reciente del sistema aeroportuario español. El crecimiento en los niveles de renta, unido a cambios en la organización espacial de las actividades económicas, ha contribuido a incrementar la demanda de transporte aéreo tanto de personas (demanda turística, profesional, de negocios...) como de mercancías (bienes perecederos o valiosos).

Este incremento del tráfico se produce gracias a la desregulación y liberalización llevada a cabo por la Unión Europea entre 1988 y 1997, que ha dado libertad a las compañías aéreas comunitarias para explotar cualquier ruta.

En 1992 se firma el tratado Schengen, por lo que los aeropuertos españoles se ven obligados a realizar una remodelación necesaria para recibir la gran oleada de visitantes que tendría nuestro país debido a la celebración de los Juegos Olímpicos de Barcelona y la Expo Universal de Sevilla. Este impulso renovador dio pie a una profunda transformación de los aeropuertos de Palma de Mallorca y Barajas, a los que pronto siguió el resto de aeropuertos de la península.

El cambio de siglo trajo consigo un proceso de internacionalización de la gestora de aeropuertos, con la incorporación de tres instalaciones en Colombia y una docena de aeródromos mexicanos. En España, se fueron añadiendo los de Logroño, Albacete, Burgos, Huesca-Pirineos, y los helipuertos de Ceuta y Algeciras, dando lugar a la actual red de 46 aeropuertos y 2 helipuertos.

El espectacular crecimiento del tráfico aéreo de pasajeros en los últimos años, y en menor medida el de mercancías, pone de manifiesto que España es un país clave en este sector. Este crecimiento es sensiblemente más rápido en los vuelos internacionales, como reflejo de la creciente integración de España en la economía europea y global.

Los aeropuertos de Madrid y Barcelona siguen siendo los líderes de nuestro país, con aproximadamente 50 y 30 millones de pasajeros/año respectivamente. Ambos han experimentado fuertes incrementos de pasajeros, al reforzarse su papel como hubs (aeropuerto que actúa como un punto focal de las redes de tráfico aéreo para la coordinación de vuelos desde y hacia otros aeropuertos).

Los aeropuertos de Bilbao, Valencia, Sevilla, Santiago de Compostela, Asturias y Zaragoza acaparan la mayoría del tráfico nacional y regional. La diferente evolución de cada uno de estos aeropuertos puede relacionarse con el dinamismo económico de su región y con la existencia o no de otros modos de transporte alternativos de calidad con el resto de España, como puede ser el AVE.

A diferencia de lo que ocurre en los viajeros, el creciente tráfico aéreo de mercancías sí está acompañado de cambios notables en su distribución espacial. Aunque Madrid y Barcelona siguen captando la mayor parte del tráfico (con unas 325 y 100 mil toneladas/año respectivamente), el aeropuerto de Zaragoza, apoyado en la Plataforma Logística de Zaragoza (PLAZA) (mayor plataforma logística del Sur de Europa), juega un papel cada vez más importante como base logística en el mundo.

El rápido incremento del tráfico de pasajeros está provocando que algunas de las infraestructuras aeroportuarias lleguen a saturarse ante determinados picos de demanda. Por ello, las cuantiosas inversiones públicas propuestas por el Ministerio de Fomento se centran en incrementar la capacidad de los aeropuertos de Madrid y Barcelona y de los principales aeropuertos turísticos (Canarias, Baleares, Málaga y Alicante).

Estas inversiones deberían permitir asumir el fuerte incremento de tráfico que se estima en los próximos años y que ya se han dejado ver.

El año 2016 es uno de los años con mayor incremento de pasajeros en los aeropuertos españoles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Evolución mensual de los aeropuertos españoles en 2016

Meses	Mov. de pasajeros 2016	Δ Mov. 2016/2015
Enero	12.959.573	12,3%
Febrero	13.312.743	16,3%
Marzo	16.469.834	14,6%
Abril	18.001.498	7,1%
Mayo	20.830.981	11,3%
Junio	22.325.255	10,7%
Julio	25.673.872	11,1%
Agosto	25.820.558	7,6%
Septiembre	23.189.171	10,3%
Octubre	21.448.190	12,2%
Noviembre	15.176.104	10,2%
Diciembre	15.039.690	12,6%
Acumulado	230.335.443	11,0%

Fuente: Subdirección General de Transporte Aéreo (2016, p.9).

2.3 Gestión del sector aeroportuario

La historia de sector aeroportuario español, gestionado por aeropuertos españoles y navegación aérea, está ligada a la liberalización del mismo. La sociedad fue constituida en junio de 1991, durante el Gobierno de Felipe González, con el objetivo de implantar las bases en nuestro país de la apertura a la competencia privada del sector, a semejanza del resto de países europeos. El Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones delimitó las competencias del nuevo operador, que pasaban por la gestión de la red de aeropuertos españoles además de la ayuda a la navegación aérea y el control de la circulación aérea. El 2 de noviembre de 1991 AENA comienza sus funciones al frente de la gestión de los aeropuertos españoles y en navegación aérea.

Fue el 25 de febrero de 2011 cuando se creó la sociedad mercantil AENA Aeropuertos, como desarrollo del Real Decreto Ley 13, del 3 de diciembre de 2010, de actuaciones en el ámbito fiscal, laboral y liberalizadoras. En este decreto se fomentó la inversión y creación de empleo, que incluía en su texto legislativo la modernización del sistema aeroportuario mediante la implantación de un nuevo modelo de gestión.

El 7 de junio de 2011 se acordó el inicio de la actividad de AENA Aeropuertos S.A., a la que se le atribuye el conjunto de funciones y obligaciones que la entidad pública empresarial AENA ejercía en materia de gestión y explotación de los servicios aeroportuarios. Finalmente el 4 de julio de 2014 se produjo el cambio de denominación de la sociedad mercantil AENA Aeropuertos, S.A. a denominarse AENA, S.A.

AENA, S.A. es una sociedad mercantil estatal española, que gestiona los aeropuertos y helipuertos en España. La sociedad, que es propiedad al 51 % del ente público empresarial ENAIRE, opera 46 aeropuertos y 2 helipuertos en España y participa a través de su filial «AENA Internacional», en la gestión de 15 aeropuertos en Europa y América, lo que le convierte en el primer operador aeroportuario del mundo por número de pasajeros. ENAIRE es el gestor de la navegación aérea en España, certificado para la prestación de servicios de control de ruta, aproximación y aeródromo.

Como entidad pública empresarial, adscrita al Ministerio de Fomento, es responsable del control del tránsito aéreo, la información aeronáutica y las redes de comunicación, navegación y vigilancia necesarias para que las compañías aéreas y sus aeronaves vuelen de forma segura, fluida y ordenada por el espacio aéreo español.

Figura 1. Localización de los aeropuertos españoles (2017).



Fuente: Rus (2016, p 9).

2.4 Proceso de privatización de AENA

El proceso de privatización de AENA se inicia en febrero de 2011 con la autorización del Consejo de Ministros para la creación de la Sociedad Mercantil AENA Aeropuertos S.A. El modelo de privatización planteado por el gobierno socialista en 2011 suponía que hasta el 49 % del capital de AENA aeropuertos podría estar en manos privadas.

En octubre de 2013 el Consejo Consultivo de Privatizaciones estimaba que: “Tanto las fases ejecutadas hasta la fecha de emisión de este informe como el diseño de la operación contenido en los pliegos analizados para la venta de hasta un 60% del capital de AENA Aeropuertos, S.A. a través de la selección de inversores de referencia y la colocación a través de una Oferta Pública de Venta, se adaptan a los principios de publicidad, transparencia y concurrencia por los que tiene que velar este Consejo”.

Tras dicha modificación contará con un núcleo estable de accionistas de referencia de entre 3 y 5 inversores que podrán controlar entre un 20% y un 30% del capital de AENA Aeropuertos. La participación individual de cada uno de los inversores estará situada entre el 5% y el 10% y el resto saldría a bolsa. De esta forma no cabría la posibilidad de que los aeropuertos compitan entre sí.

Las distintas opciones de propiedad y gestión de aeropuertos han sido analizadas en diferentes trabajos académicos. Uno de los trabajos más recientes es Gillen (2011), que distingue entre las siguientes formulas:

1. Aeropuerto con propiedad pública y gestión pública.
2. Aeropuertos con propiedad pública y gestión privada.
3. Aeropuertos con esquemas de participación público privada (PPP)
4. Corporaciones independientes sin ánimo de lucro.
5. Aeropuertos completamente privados vía venta directa.
6. Aeropuertos completamente privados vía salida a Bolsa.
7. Aeropuertos parcialmente privados pero con un control del sector privado.
8. Aeropuertos parcialmente privados pero con un control del sector público.

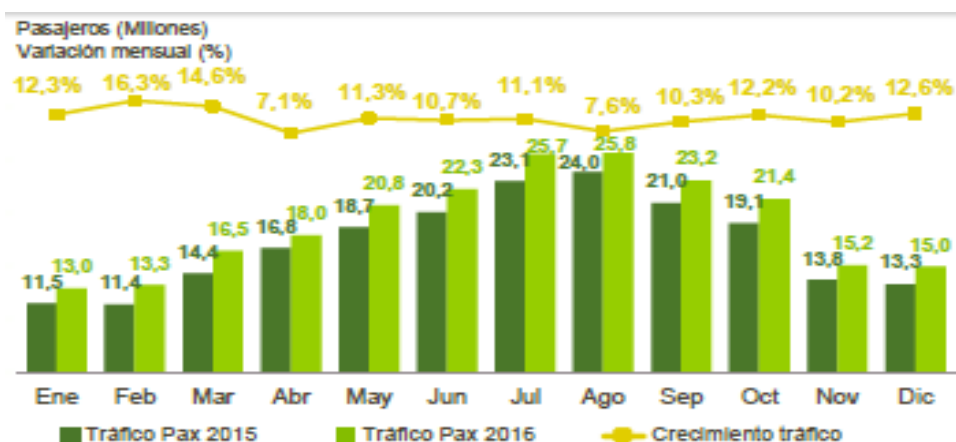
Por lo tanto en el año 2013 el modelo que se contempla para AENA Aeropuertos encaja en la opción 8, modelo de privatización parcial (60%) en la que el sector público mantiene el control, pues los socios de referencia limitan en conjunto su participación al 20%-30%.

2.5 Servicios y situación económica-financiera de AENA

AENA es el primer operador del mundo por volumen de pasajeros (230.229.523) en 2016. Debemos de tener en cuenta que esta gestiona dos de los aeropuertos más importantes del mundo como son el de Madrid y Barcelona, con un tráfico de 50.420.583 y 44.154.693 pasajeros, respectivamente.

En el año 2016, AENA consiguió record de tráfico en su historia, con un crecimiento acumulado de 11,0% y 230,2 millones de pasajeros en los aeropuertos de la red de España. El crecimiento de los pasajeros internacionales se sitúa en 12,0% y el del tráfico nacional en 8,8% (Gráfico 2).

Gráfico 2. Evolución AENA en el año 2016



Fuente: AENA (2017, p.6).

La gestión de AENA se puede dividir en dos grandes grupos, en primer lugar, los servicios principales (aeronáuticos) y los servicios de apoyo (comerciales). En el siguiente cuadro se muestran los servicios aeronáuticos con los que cuenta AENA.

Cuadro 2. Servicios prestados por AENA

<u>Operacionales</u>	<u>Handling</u>
Control del tráfico aéreo	Limpieza de las aeronaves
Servicios meteorológicos	Provisión de combustible
Telecomunicaciones	Carga y descarga de equipaje y mercancía
Policía y Seguridad	Manejo de equipaje, mercancía y pasajeros
Servicios de bomberos y ambulancia	
Mantenimientos de pistas	

Fuente: Rus (2015, p30).

Aunque la principal vía de ingreso de AENA son los servicios aeronáuticos no se debe dejar a un lado los servicios comerciales, ya que con estos, AENA obtuvo en el año 2016 unos ingresos de 939.787 euros. En el cuadro 3, se muestran los principales servicios y la variación de ingresos respecto al año 2015.

Cuadro 3. Servicios comerciales AENA 2016

Línea de negocio (Miles de euros)	Ingresos		Variación	
	2016	2015	Miles €	%
Tiendas Duty Free	285.153	250.968	34.185	13,6%
Restauración	154.493	132.086	22.407	17,0%
Tiendas	89.660	82.353	7.307	8,9%
Aparcamientos	121.554	110.767	10.787	9,7%
Alquiler de Vehículos	114.466	104.526	9.940	9,5%
Publicidad	30.290	28.564	1.726	6,0%
Arrendamientos	25.005	26.490	-1.485	-5,6%
Resto de ingresos comerciales ⁽¹⁾	119.166	114.922	4.244	3,7%
Actividad comercial⁽³⁾	939.787	850.676	89.111	10,5%

Fuente: AENA (2016, p 1).

- 1) Incluye: Explotaciones Comerciales, Suministros Comerciales, Utilización de Salas y Filmaciones y Grabaciones.
- 2) Rentas Mínimas Garantizadas.
- 3) No incluye el Segmento Servicios Inmobiliarios.

La gestión de AENA tiene como resultado unos datos económicos y financieros muy favorables en la actualidad dejando en clara evidencia su buen trabajo. Fijándonos en los ingresos totales del año 2016, estos aumentan hasta 3.772,5 millones de euros (7,2% respecto a 2015), de los cuales el 25,1% corresponden a ingresos comerciales (24,5% en 2015). Los ingresos comerciales, como se ha comentado en el anterior punto, crecen en un 10,2% (hasta 948,8 millones de euros).

En el año 2016 se obtuvo un ebitda de 2.293,6 millones de euros, lo que supone un crecimiento de 9,3% respecto a 2015. El beneficio neto consolidado aumenta hasta 1.164,1 millones de euros (39,7% de incremento respecto a 2015). Estos datos record han sido acompañados por el gran crecimiento de la red de aeropuertos Españoles.

Cuadro 4. Variación de pasajeros, operaciones y carga de 2016 respecto 2015.

Red en España	2016	2015	Variación
Pasajeros	230.229.523	207.414.141	11.00%
Operaciones	2.045.034	1.902.694	7.5%
Carga	795.575.212	715.011.286	11.2%

Fuente: AENA (2017, p.6).

CAPÍTULO 3: MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

3.1 Concepto de eficiencia

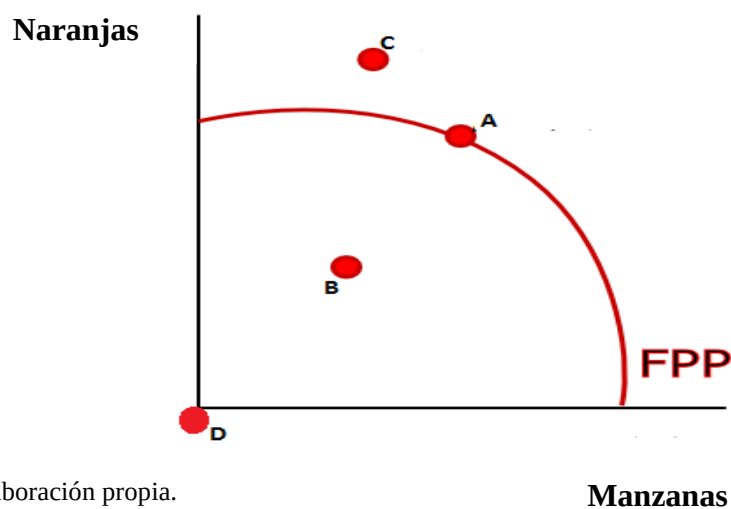
El origen de este término es latino y se refiere a la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. Koontz,y Weihrich (2004) aseguran que la eficiencia consiste en el logro de aquellas metas que se ha propuesto una empresa utilizando para ello la menor cantidad posible de recursos y tiempo. Por otra parte Robbins y Coulter (2005) afirman que consiste en obtener resultados de una magnitud importante invirtiendo la mínima cantidad posible de recursos en ella. Por último, Da Silva (2002) la fundamenta en operar de una determinada forma en la cual todos los recursos se utilicen de la manera más adecuada posible.

En todo caso no se debe confundir el concepto de eficacia, capacidad de lograr algo esperado, con el concepto eficiencia, capacidad de lograr algo esperado con los mínimos recursos posibles.

3.2 Tipos de eficiencia

En primer lugar, siguiendo a Cachanosky (2012) fundamenta que la eficiencia técnica nos muestra si los recursos que tenemos disponibles son explotados al máximo de su capacidad o si, por el contrario, hay capacidad ociosa de los factores productivos.

Gráfico 3. Frontera de posibilidades de producción



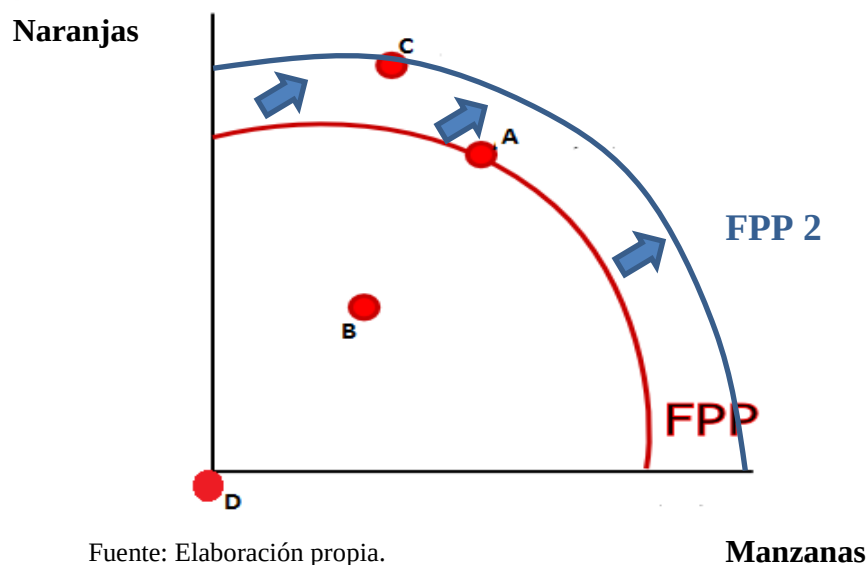
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 3 se reflejan las distintas posibilidades de producción de dos bienes. La producción de manzanas se representa en el eje X y la producción de naranjas en el eje Y. La frontera de posibilidades de producción es la curva cóncava representada en color rojo.

Analizando el gráfico desde dentro hacia fuera, el primer punto que encontramos es el D. Este punto es llamado punto nulo, o desempleo, al no utilizar ningún recurso disponible. Acercándonos a la curva, el punto B nos muestra un punto ineficiente, es decir, utiliza recursos pero no todos de los que se dispone, se conoce como punto ocioso.

El punto A, el cual está situado en la línea FPP, llamado punto eficiente o de pleno empleo, supone que se están utilizando todos los recursos disponibles de forma eficiente. Por último, el punto C es conocido punto inalcanzable, ya que no se puede llegar a producir esa cantidad de producción con los recursos disponibles. Para poder alcanzar el punto C, actualmente inalcanzable, se necesita de un avance tecnológico o un aumento de los recursos que desplace la curva hacia la derecha.

Grafico 4. Desplazamiento de la frontera de posibilidades de producción.



Fuente: Elaboración propia.

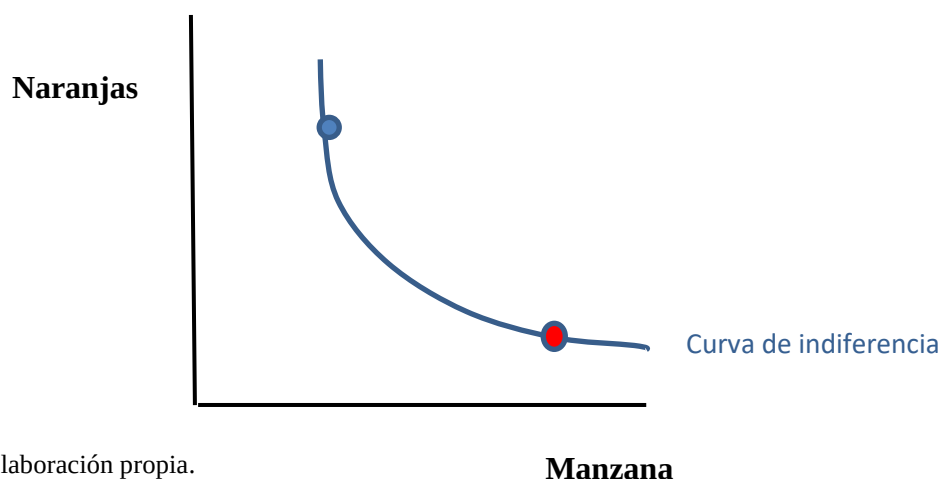
Los avances en la tecnología, la mejor utilización de la maquinaria, el know how, las mejoras en las relaciones entre trabajadores, entre otros, permiten producir una mayor cantidad de bienes y servicios y desplazar la FPP hacia la derecha, generando así un desarrollo económico.

En segundo lugar, Nicholson (2005), afirma que la eficiencia económica es el punto sobre la FPP donde se cumpla la asignación de los recursos eficientemente para la fabricación de los bienes que únicamente demandan los consumidores, de esta forma se alcanzará la eficiencia económica. Por tanto, si tenemos capacidad de encontrar el punto sobre la FPP que permita producir los bienes con la correcta asignación de recursos y que los consumidores lo demanden, habremos logrado la eficiencia económica.

Por el contrario puede suceder que nuestros consumidores demanden manzanas y naranjas en una cantidad inferior a las que se ha producido eficientemente desde el punto de vista técnico. En ese caso, estaríamos ante una eficiencia técnica pero no económica.

Para poder representar la eficiencia económica es importante emplear el concepto de curva de indiferencia. Una curva de indiferencia muestra la combinación de consumo de dos bienes en donde el consumidor se mantiene indiferente. Es decir, siempre que el consumidor se encuentre sobre la curva de indiferencia le será indistinto consumir más bienes de manzanas y menos de naranjas o viceversa (gráfico 5).

Grafico 5. Curva de indiferencia

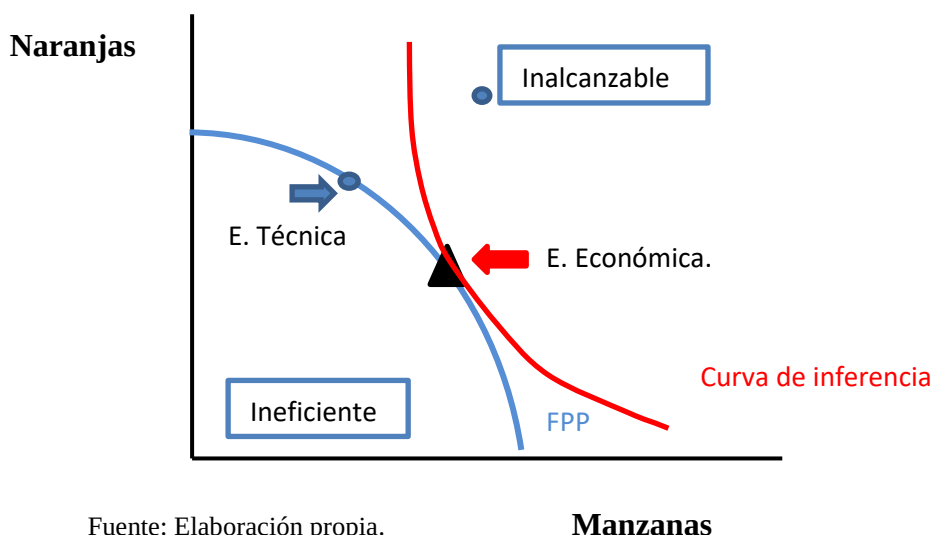


Fuente: Elaboración propia.

En el punto azul, consume más bienes de naranjas y menos de manzanas; en el punto rojo consume más bienes de manzanas y menos de naranjas. Lo importante es que le es indiferente estar en cualquiera de las dos situaciones ya que le brindan la misma utilidad.

Tras introducir el concepto anterior, de curva de indiferencia, estamos en condiciones de combinarla con la curva FPP (gráfico 6). Como se puede observar, el punto donde ambas curvas son tangentes, está señalizado con un triángulo. Por lo tanto, ese y sólo ese punto de la FPP se alcanzan simultáneamente eficiencia técnica y económica.

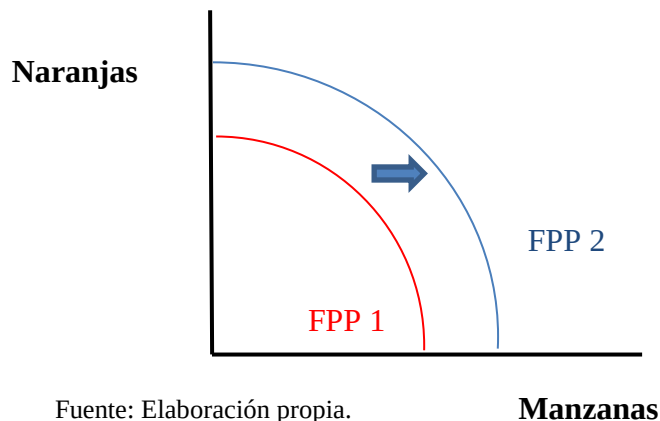
Gráfico 6. Frontera de posibilidades de producción y curva de indiferencia



Fuente: Elaboración propia.

Por último, los economistas ponen su centro de atención en discutir cómo alcanzar la eficiencia técnica y la eficiencia económica cuando tal vez el debate debería girar en torno a un proceso de descubrimiento. En torno a esta idea, del Soto (2004) añade, ‘Se trata, en suma, de aumentar los bienes por vía de la creatividad empresarial, es decir, del comercio y la especulación, más que evitando el despilfarro de los recursos que ya se poseen’ al tiempo que ‘El criterio de eficiencia dinámica es aquel que se fija en la capacidad del sistema para «mover» continuamente hacia la derecha la curva de posibilidades máximas de producción’ (Gráfico 7).

Grafico 7. Eficiencia dinámica



Fuente: Elaboración propia.

Se podría resumir que el mecanismo de precios es el que se ocupa de acercarnos a la eficiencia económica mientras que la teoría de la eficiencia dinámica, por medio del empresario, se concentra en expandir la FPP.

3.3 Técnicas de evolución de la eficiencia

Existen dos métodos principales para medir el grado de eficiencia técnica (esquema 1) en función de la utilización de los factores:

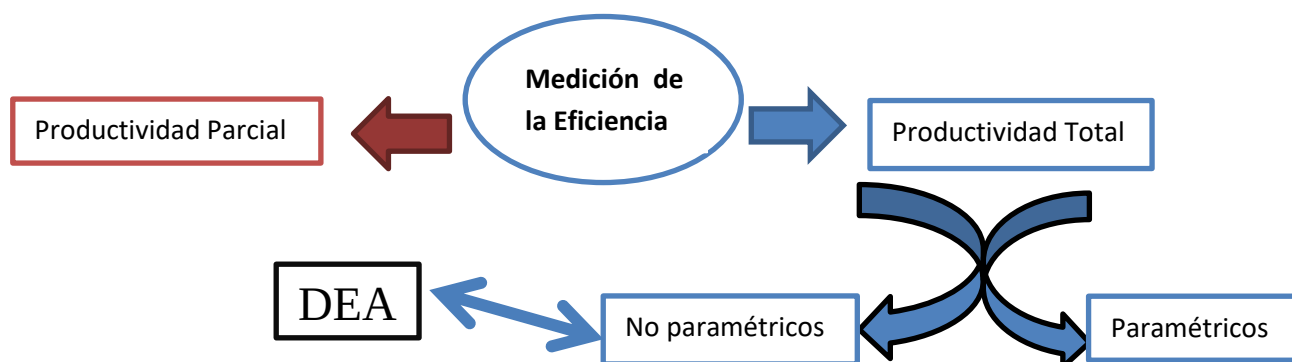
- Productividad parcial: Se refiere a la capacidad que tiene una empresa de producir con un solo factor.
- Productividad total de los factores: En este caso, se relacionan dos o más elementos en el proceso, con lo cual es necesario realizar una agregación del grado de productividad de cada uno de ellos para saber si el proceso es eficiente o no.

Dentro de este segundo tipo de técnica, nos centraremos en los métodos frontera. Estos establecen un determinado grado de productividad en cada empresa analizada y lo comparan con el de otras empresas similares de la competencia. A través del efecto reflejo se puede saber si un proceso está siendo más o menos eficiente.

Existen multitud de variantes de métodos frontera dividiéndose en dos tipos: paramétricos (requiere la necesidad del conocimiento de una función de producción para relacionar las entradas y las salidas), como son los modelos de estimación

Bayesiana y el modelo Estocástico, y los no paramétricos (no se requiere función). Dentro de estos últimos se encuadra la metodología DEA (análisis envolvente de datos).

Esquema 1. Técnicas de medición de eficiencia



Fuente: Esteban y Coll (2003, p 428). Elaboración propia.

3.4 Análisis envolvente de datos

El análisis envolvente de datos surge a raíz de la tesis doctoral de Rhodes (1978) y puede considerarse como una extensión del trabajo de Farrell (1957), en el que estableció importantes ideas: en primer lugar, introdujo las bases conceptuales para la medición de la eficiencia, en segundo lugar, diferenció entre eficiencia técnica y eficiencia precio. También introdujo el concepto de función de producción y señaló los problemas para su estimación y por último, propuso estimar la función de producción a partir de la observación de unidades reales de producción dando lugar a la función de producción empírica o implícita y al concepto de eficiencia relativa.

El DEA es una técnica de programación matemática que permite la construcción de una superficie envolvente o frontera eficiente a partir de los datos que se dispone. En principio, los modelos DEA fueron utilizados en mayor medida para evaluar la eficiencia relativa de organizaciones sin ánimo de lucro. Con el paso del tiempo, y dada la naturaleza de la metodología DEA, su uso se extendió rápidamente al análisis del rendimiento en organizaciones lucrativas en diferentes ámbito económicos (banca, industria educación, política, agricultura, turismo).

Como anteriormente se ha comentado, se trata de un procedimiento no paramétrico que permite evaluar la eficiencia relativa de un conjunto de unidades productivas homogéneas. Es una técnica de medición de la eficiencia basada en la obtención de una frontera de eficiencia a partir de un conjunto de observaciones, sin necesidad de asumir ninguna forma funcional entre “input” y “outputs”. Por tanto, se trata de optimizar la medida de eficiencia de cada unidad analizada, para crear así una frontera eficiente basada en el principio de Pareto.

Gracias a la utilización de la programación lineal, el DEA compara la eficiencia relativa de un conjunto de empresas/unidades que producen “outputs” similares a partir de una serie de “inputs” comunes.

Siguiendo a Thanassoulis (2001), la medida de la eficiencia de una unidad de decisión mediante la técnica DEA implica dos pasos básicos:

- La construcción del conjunto de posibilidades de producción.
- La estimación de la máxima expansión factible del output o de la máxima contracción de los inputs de la unidad dentro del conjunto de posibilidades de producción.

No debe confundirse la frontera de posibilidades de producción con la frontera eficiente. Por tanto, ahora el mayor interés se centra en determinar, a partir de nuestros datos, el conjunto de procesos que se consideran eficientes.

Para la consecución del primer paso, es esencial la enumeración de los planes de producción factibles, como indica Varian (1991, p.362) ‘La forma más fácil de describir los planes de producción factibles es enumerarlos, es decir, enumerar todas las combinaciones de factores y de productos tecnológicamente factibles. El conjunto de todas estas combinaciones se denomina conjunto de producción’ Así, este puede definirse como el conjunto de procesos productivos tecnológicamente factibles.

Ya que no tenemos conocimiento alguno de la tecnología usada, la construcción del conjunto de posibilidades de producción (CPP) se realizará a partir de todas las combinaciones input-output observadas, siendo necesario establecer ciertos supuestos en relación con aquella. En este modelo la eficiencia es computada como el ratio definido por el cociente entre la suma ponderada de los “outputs” y la suma ponderada

de los “inputs”, considerando que la eficiencia de ninguna unidad puede superar la unidad. En concepto su rango entre 0 y 1, siendo 1 eficiente y 0 ineficiente.

3.5 Enfoques del análisis envolvente de datos

Siguiendo a Charnes, Cooper y Rhodes (1981), la eficiencia puede ser caracterizada con relación a dos orientaciones

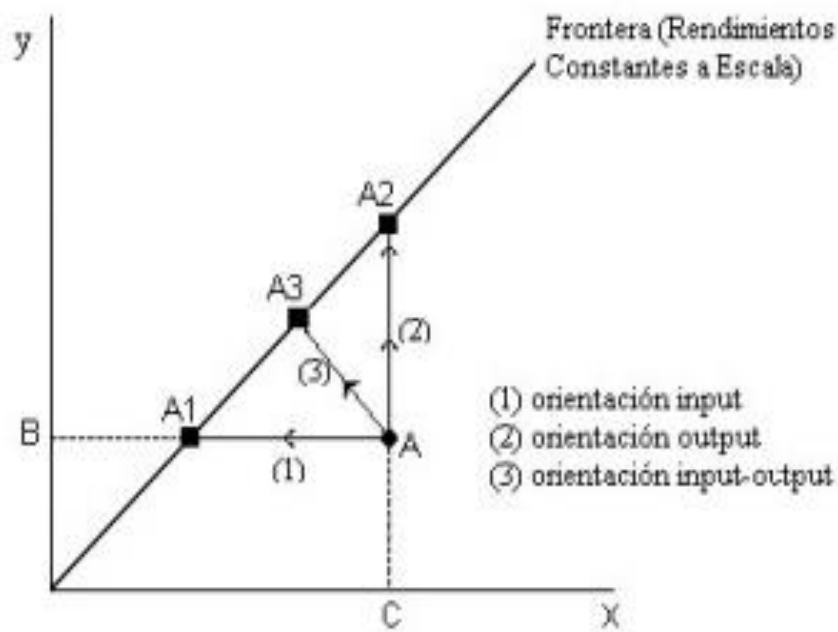
- Modelo input orientados en el que dado un nivel de outputs se busca la máxima reducción proporcional en el vector de inputs mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. En otras palabras, intentar producir lo mismo pero con menos uso de input
- Modelo output orientados donde dado un nivel de inputs, se busca el máximo incremento proporcional de los outputs permaneciendo siempre dentro de la frontera de posibilidades de producción. Es decir, con una cantidad de input, maximizar sus output, es decir, producir más.

Teniendo en cuenta las orientaciones definidas, una unidad será considerada eficiente si, y solo si, no es posible incrementar las cantidades de output manteniendo fijas las cantidades de inputs utilizadas (output orientados), ni es posible disminuir las cantidades de inputs empleadas sin alterar las cantidades de outputs obtenidas (input orientados).

En el gráfico 8 se ha representado, bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, el caso de un único input y un único output. En ella puede verse como la unidad A es ineficiente técnicamente, situándose por debajo de la frontera.

Desde el punto de vista de un modelo input orientado, la unidad A podría reducir la cantidad de input X (los inputs son controlables) y seguir produciendo la misma cantidad de output Y, es decir, la unidad A debería tomar como referencia la mejor práctica de la unidad A₁. La ineficiencia (técnica) de la unidad vendría dada por: $ET_A = BA_1 / BA$.

Gráfico 8. Representación de la frontera en términos de rendimientos constantes.



Fuente: Alberto Jaime (2016, p 26).

De igual forma ocurre si consideráramos la evaluación de la eficiencia a través de modelos outputs orientado. La unidad A sería calificada nuevamente como ineficiente. Esta unidad podría, consumiendo la misma cantidad de input, producir una mayor cantidad de output.

En este caso, la ineficiencia de la unidad A vendría dada por el cociente $ET_A = CA/CA_2$. Bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, las medidas de eficiencia técnica input y output orientadas coinciden.

Por tanto, independientemente de la orientación, el programa se computa de forma separada para cada unidad de producción, generando n conjuntos de ponderaciones a aplicar sobre los “inputs” y “outputs” incluidos en el análisis.

Los valores de las ponderaciones pueden ser distintas para cada unidad, ya que para cada una de ellas se seleccionan las ponderaciones de manera que su evaluación sea lo más favorable posible. Es decir, en este planteamiento subyace la idea de maximizar una especie de índice de productividad total de factores (unidades de “output” producido por cada unidad de “input” empleada) para cada unidad.

En el numerador del índice se envuelven todos los “outputs”, al igual que en el denominador se resumen todos los “inputs”. Sin embargo, para esa agregación no se utiliza un sistema de precios convencional sino un conjunto de ponderaciones cuyo valor es precisamente el que se pretende hallar de tal forma que maximice el ratio para cada unidad.

3.6 Ventajas e inconvenientes del análisis envolvente de datos

Como ventajas de la metodología DEA, Somarriba Arechavala (2016) destaca:

- Al ser el propio programa el que determina las ponderaciones se produce la ausencia de subjetividad por parte del investigador referentes a la importancia relativa de cada variable
- Es muy flexible ya que no exige que todas las unidades concedan la misma importancia a un mismo indicador parcial.
- No nos exige el conocimiento de la función producción, por lo tanto será sencilla de aplicar.
- Nos va ofrecer información particularizada por unidades (países, ciudades, individuo, etc.) que podrá ser empleada para establecer guías de actuación de cara a la mejora de su eficiencia (bienestar).
- Permite la realización de análisis de sensibilidad y de estabilidad, lo que puede resultar de interés como herramienta de cara a la toma decisiones en materia de política económica.

Por otra parte, esta técnica presenta una serie de inconvenientes:

- La exigencia de la homogeneidad de las unidades sometidas a análisis.
- La flexibilidad que anteriormente he comentado en las ventajas, también puede ser considerada como un gran problema. Existe la posibilidad de que algún “inputs” reciba una ponderación nula y por tanto no se incluya en el proceso de cómputo. Esto podría implicar que variables trascendentales para el análisis pasaran desapercibidas.
- Carecemos de criterios unánimes a la hora de seleccionar las variables en nuestro objeto de estudio.

- La fiabilidad de los resultados de eficiencia depende de la relación existente entre el número de variables consideradas y el de unidades. Así por ejemplo Banker (1989) establecía a modo orientativo, el requisito de que el número de unidades analizadas sea mayor o igual a la suma de “inputs” y “outputs” multiplicado por 3, para que el modelo tenga carácter discriminatorio, aunque en este sentido, existen diferentes criterios (Norman y Stoker,1991y Mancebón,1996)

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS EMPÍRICO

4.1 Descripción de la muestra

Para realizar esta investigación me he centrado en un sector que como anteriormente he comentado, es uno de los más estratégicos para nuestro país. En este capítulo aplicamos la metodología DEA, anteriormente descrita, para investigar qué aeropuertos españoles son los más eficientes y los más ineficientes.

Para la elección de la muestra, he escogido los 20 aeropuertos con mayor volumen de pasajeros durante el año 2015. Todos los datos corresponden al año 2015 ante la no disponibilidad de información posterior. En los siguientes cuadros 5 y 6 se muestran las principales características de la muestra utilizada.

Cuadro 5. Características de los aeropuertos 2015 (1)

Aeropuertos	Horas/semana	Terminales	Aerolíneas	Destinos	parking aviones
Madrid-Barajas	168	4	75	187	355
Barcelona-El Prat	168	3	83	194	70
Palma de Mallorca	168	2	69	167	97
Málaga-Costa del Sol	168	2	49	129	73
Gran Canaria	168	2	52	139	60
Alicante-Elche	168	1	29	110	40
Tenerife Sur	168	1	63	161	44
Ibiza	168	1	46	83	25
Lanzarote	126	1	40	85	24
Valencia	168	1	25	60	52
Fuerteventura	109	1	48	82	34
Sevilla	133	1	23	47	30
Bilbao	115	2	22	44	21
Tenerife Norte	112	1	11	23	19
Menorca	123	1	33	63	20
Santiago	168	1	11	31	35
Girona	168	1	7	45	18
Asturias	119	1	9	17	9
Murcia	103	2	7	22	11
A Coruña	36	2	4	11	10

Fuente: AENA. Elaboración propia.

Cuadro 6. Características de los aeropuertos 2015 (2)

Aeropuertos	Pasajeros	salida aviones/h	Resultados a.i (millones)	Mercancía (toneladas)	Vuelos
Madrid-Barajas	46.828.838	52	27.540	381.069	366.605
Barcelona-El Prat	39.711.237	40	339.280	177.219	288.878
Palma de Mallorca	23.745.023	34	158.760	11.374	178.253
Málaga-Costa del Sol	14.404.206	25	18.000	2.473	108.897
Gran Canaria	10.627.218	24	70.330	18.800	10.417
Alicante-Elche	10.575.288	18	50.530	74.100	3.587
Tenerife Sur	9.117.514	21	73.410	56.461	2.863
Ibiza	6.477.283	15	32.150	64.612	2.023
Lanzarote	6.128.971	14	35.980	50.448	1.803
Valencia	5.055.127	20	9.220	13.542	59.005
Fuerteventura	5.027.415	14	20.660	936	39.303
Sevilla	4.308.845	15	16.490	6.007	46.085
Bilbao	4.277.725	14	14.350	2.872	43.862
Tenerife Norte	3.815.316	17	-5.800	12.819	53.259
Menorca	2.867.521	12	-2.780	1.502	28.687
Santiago	2.296.409	12	-16.420	2.311	20.540
Girona	1.775.326	12	0.820	95.914	19.527
Asturias	1.119.273	8	-3.780	-	10.758
Murcia-San Javier	1.067.668	6	-0.700	-	8.546
A Coruña	1.025.688	6	-6.140	141	14.682

Fuente: AENA. Elaboración propia.

La información para la muestra así como para los input y output ha sido extraída de la página web de cada uno de los 20 aeropuertos seleccionados (AENA). Como antes ya he comentado, todos los datos son del año 2015, excepto los datos de los resultados antes de impuestos, que corresponden a 2014, ante la imposibilidad de obtenerlos más actualizados. La no disponibilidad de datos en el caso de Murcia y de Asturias es debido a la no comercialización de las mercancías.

4.2 Caracterización del modelo utilizado

Para el estudio se ha optado por el modelo denominado DEA, para medir la eficiencia de los distintos aeropuertos españoles. Se trata de un método no paramétrico, el cual aplica la estimación de fronteras de producción y una evaluación de la eficiencia de una muestra de unidades de producción (DMU's o decisión making units, en la terminología habitual). Normalmente se calcula la eficiencia relativa para cada DMU comparando los inputs y outputs respecto a todas las demás DMUs.

Además de ofrecernos información sobre cuáles de nuestras unidades de decisión son eficientes o ineficientes, nos aporta información sobre el tipo de rendimiento que presenta es decir, la relación entre aumentos en el nivel de actividad y el uso de recursos.

Por tanto, si los aeropuertos incrementan su producción con un aumento de sus recursos menos que proporcional, se dice que posee rendimientos crecientes a escala mientras que cuando ocurre lo contrario, los rendimientos son decrecientes. Existe la posibilidad de trabajar bajo rendimientos constantes a escala, en el caso de que el volumen de actividad aumente en igual proporción que los inputs.

Este modelo tiene básicamente dos variantes, en primer lugar; el denominado CCR y, en segundo lugar, el BCC. En ambos casos, para aplicar este modelo a nuestra investigación, tenemos mucha variedad de programas informáticos especializados en este tipo de modelo. En mi caso, he usado el software Dea Solver Professional.

Los resultados de ambos modelos se valoran entre 1 y 0. Por lo tanto aquellos aeropuertos que obtenga como resultado 1 serán considerados como eficientes, mientras que si se obtiene un dato inferior a 1, será ineficiente.

Nos decantamos hacia un modelo de eficiencia outputs orientado, dado que cualquier aeropuerto aspira a la maximización de sus ventas a partir del consumo de sus factores productivos.

4.2.1 Modelo rendimientos constantes de escala (CCR)

La versión CCR conocida así por Charnes, Cooper y Rhodes, compara todos los aeropuertos bajo el supuesto de rendimientos de escala constantes en cada uno de ellos, por lo que se requieren tantas optimizaciones como unidades de decisión. En este caso se aplica este modelo de programación lineal¹:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } g_k &= \phi \left(\varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ + \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \\
 \text{s.a.} \\
 \sum_j \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{ik} \\
 \sum_j \lambda_j y_{rj} - \phi y_{rk} - s_r^+ &= 0 \\
 \lambda_j, s_r^+, s_i^- &\geq 0
 \end{aligned}$$

4.2.2 Modelo rendimientos variables a escala (BCC)

El modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper) nos permitirá conocer, contemplando el rendimiento variable a escala, la puntuación de eficiencia de cada aeropuerto en comparación con los de su misma escala, dando como la eficiencia técnica pura.

Los modelos BCC y CCR se diferencian sólo en que el primero incluye la condición de convexidad, $\lambda_j \geq 0$, en sus restricciones. Por eso, como podría esperarse, comparten propiedades en común y muestran diferencias. La formulación se expresa²:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } z_o &= \phi + \left(\varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ + \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- \right) \\
 \text{s.a.} \\
 \sum_{j=1}^k \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_o \\
 \sum_j \lambda_j y_{rj} - \phi y_{rk} - s_r^+ &= 0 \\
 \sum_j \lambda_j &= 1 \\
 \lambda_j, s_r^+, s_i^- &\geq 0
 \end{aligned}$$

¹De la Rosa Navarro (2016); *El análisis envolvente de datos como herramienta para evaluar la eficiencia del sector hoteleros de la costa del sol*, Trabajo fin de grado, Universidad de Jaén.

² Consultada en la misma fuente que anterior nota a pie (1).

4.3 Selección de las variables

Para la aplicación de la metodología se requiere la selección de un conjunto de inputs y outputs. No existe una pauta para la elección de estas, es por ello que los principales criterios de selección han sido, en primer lugar, la disponibilidad de datos. De este modo se han seleccionado dos inputs y dos outputs (Cuadro 7).

Cuadro 7. Variables utilizadas para la aplicación DEA

Inputs	Outputs
• N° de terminales • N° de aerolíneas	• N° de Pasajeros • Mercancía

Fuente: Elaboración propia.

Las variables inputs representan los recursos que los aeropuertos necesitan para ofrecer sus servicios, seleccionamos dos:

- N° de terminales: Una de las características más importantes que puede diferenciar un aeropuerto de gran tamaño a otro de menor tamaño es su número de terminales. En el caso de los aeropuertos españoles, Madrid cuenta con el mayor número de terminales, mientras que Alicante por ejemplo cuenta con una sola terminal.
- N° de aerolíneas: Hoy en día contamos con una gran variedad de aerolíneas por todo el mundo. A medida que el aeropuerto acoge más pasajeros, este cuenta con más variedad de aerolíneas, para así poder abarcar distintos destinos.

Por otro lado los outputs representan los servicios que se puede ofrecer, una vez consumidos los inputs. En el caso de los aeropuertos, una vez consumido los dos inputs descritos anteriormente, los servicios que se puede ofrecer, es decir los outputs seleccionados son:

- N° de pasajeros: Es el principal servicio que puede prestar un aeropuerto y la vía con la cual se generan mayor volumen de ingresos.
- Mercancías: En la última década este servicio ha tenido una gran evolución, debido en gran medida a la apertura de los mercados.

Cuadro 8. Valores de inputs y outputs seleccionados

Aeropuertos	(I)Terminales	(I)Aerolíneas	(O)Pasajeros	(O)Toneladas
Madrid-Barajas	4	75	46.828.838	381.069
Barcelona-El Prat	3	83	39.711.237	177.219
Palma de Mallorca	2	69	23.745.023	11.374
Málaga	2	49	14.404.206	2.473
Gran Canaria	2	52	10.627.218	18.800
Alicante-Elche	1	29	10.575.288	74.100
Tenerife Sur	1	63	9.117.514	56.461
Ibiza	1	46	6.477.283	64.612
Lanzarote	1	40	6.128.971	50.448
Valencia	1	25	5.055.127	13.542
Fuerteventura	1	48	5.027.415	936
Sevilla	1	23	4.308.845	6.007
Bilbao	2	22	4.277.725	2.872
Tenerife norte	1	11	3.815.316	12.819
Menorca	1	33	2.867.521	1.502
Santiago	1	11	2.296.409	2.311
Girona	1	7	1.775.326	95.914
Asturias	1	9	1.119.273	0
Murcia-San Javier	2	7	1.067.668	0
A Coruña	2	4	1.025.688	141

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 9 muestra la estadística descriptiva de las variables seleccionadas, observándose la abultada diferencia entre el número máximo y el mínimo de aerolíneas.

Cuadro 9. Datos estadísticos de los inputs y outputs

	Terminales	Aerolíneas	Pasajeros	Mercancía
Max	4	83	46.828.838	381.069
Min	1	4	1.025.688	0
Media	1,55	35,3	10.012.594,6	48.630
Desviación estándar	0,80467385	23,9292708	12.340.898,1	87.980,0947

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Resultados

Con la aplicación del software informativo DEA Solver a nuestras variables, obtenemos la resolución final de nuestra investigación. En primer lugar se ha estimado el modelo bajo rendimientos constantes a escala, proporcionando los valores de eficiencia técnica global, a continuación, se ha considerado de nuevo el modelo bajo rendimientos variables a escala, obteniendo así los valores de eficiencia pura. Por último, para lograr la eficiencia de escala se ha realizado un cociente entre ambas.

Como puede verse en el siguiente cuadro, los aeropuertos de Girona, Madrid y Barcelona son los tres eficientes desde el punto de vista de ambos modelos.

Cuadro 10. Resultados finales

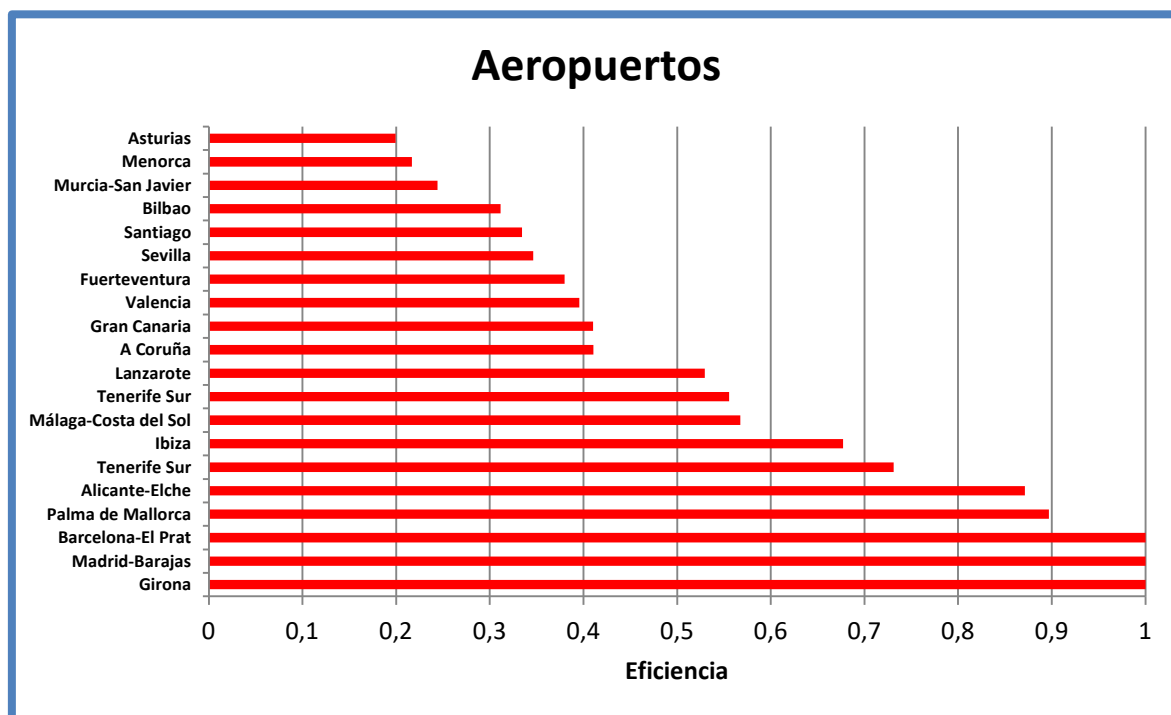
Aeropuertos	ETG(score CCR)	ETP (score BBC)	Eficiencia Escala(ETG/ETP)
Barcelona- El Prat	1	1	1
Madrid-Barajas	1	1	1
Girona	1	1	1
Palma de Mallorca	0,896913246	0,9443876	0,949730012
Gran Canaria	0,410281747	0,43748106	0,937827451
Málaga-Costa del Sol	0,567373458	0,60897411	0,931687323
Bilbao	0,31141395	0,35401567	0,879661485
Alicante-Elche	0,871194487	1	0,871194487
Ibiza	0,677226468	0,80414959	0,842164787
Lanzarote	0,529494096	0,654334745	0,809209812
Fuerteventura	0,379797915	0,47539093	0,79891704
Menorca	0,216627928	0,27115197	0,798917036
Tenerife Sur	0,731157283	1	0,731157283
Valencia	0,395563836	0,55715308	0,709973345
Sevilla	0,346470452	0,51776367	0,669167174
Murcia-San Javier	0,244278963	0,37218147	0,656343701
Tenerife norte	0,555502107	0,86214953	0,644322229
Santiago	0,334352394	0,60188393	0,555509754
Asturias	0,199178015	0,40040195	0,497445167
A Coruña	0,410679633	1	0,410679633

Fuente: Elaboración propia.

La anterior tabla contiene el listado de los diferentes resultados de los aeropuertos, ordenados en función de los valores de eficiencia de escala.

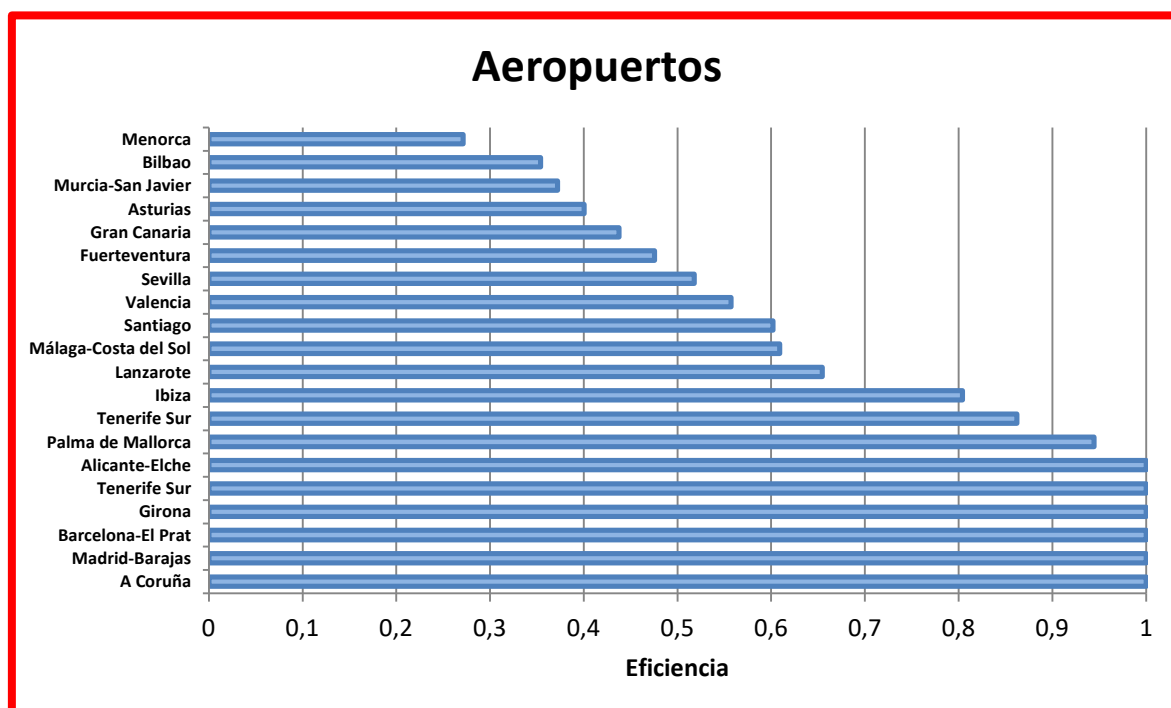
En los siguientes gráficos se muestra la clasificación de los aeropuertos, midiendo la eficiencia, bajo rendimientos constantes de escala y bajo rendimientos variables a escala.

Gráfico 9. Resultados en base al modelo CCR



Fuente: DEA Solver.

Gráfico 10. Resultados en base al modelo BCC



Fuente: DEA Solver.

Como se puede observar en el cuadro 11, son pocos los aeropuertos 100% eficientes. Concretamente solo un 15% de los mismos son eficientes desde el punto de vista de la eficiencia global, mientras que considerando la eficiencia pura este porcentaje se duplica.

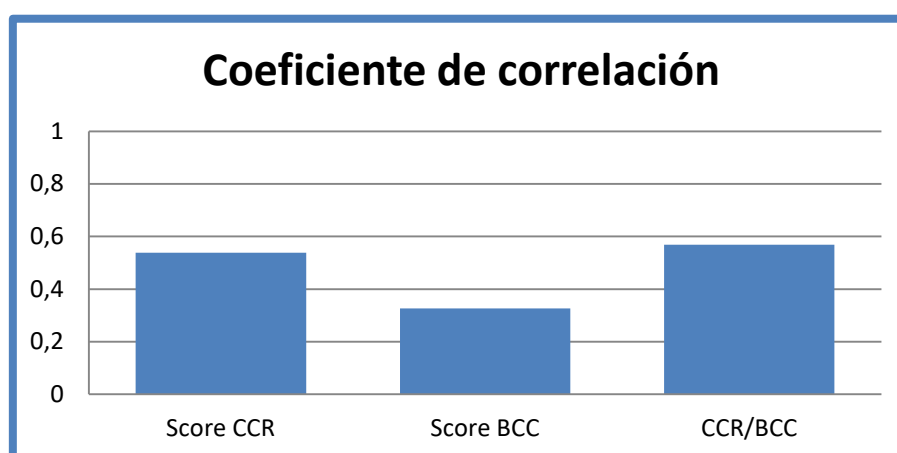
Cuadro 11. Unidades eficientes y porcentajes

	DMU's eficientes	Porcentaje
Score CCR	3	15%
Score BBC	6	30%
CCR/BCC	3	15%

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 9 recoge los datos de correlación entre beneficios antes de impuestos y la eficiencia³.

Gráfico 11. Coeficiente de correlación de Pearson



Fuente: Elaboración propia.

Se considera que existe una correlación positiva total cuando el coeficiente es 1 o cercano a 1. La misma implicaría una asociación entre eficiencia técnica mayor y un volumen superior de beneficios antes de impuestos. Sin embargo, nuestros resultados no son completamente concluyentes. La correlación entre los 3 conceptos de eficiencia y el volumen de dimensiones es baja, si bien, se puede observar que la relación si es siempre positiva

³ El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas.

4.5. Grupos de referencia

Además de la información anteriormente comentada, el software DEA solver también muestra las unidades de decisión que son referentes. En este caso, aporta información sobre cuáles de los aeropuertos eficientes sirve de referencia para aquellos que aún no lo son, con el fin de poder parecerse a ellos y conseguir ser eficientes. Sin embargo, si la DMU es eficiente, el software no puede encontrar ninguna unidad para compararla con ella, por tanto en ese caso se compara con ella misma, y su valor será 1. Para la búsqueda de las unidades de referencia, se aplicará el modelo BCC.

Cuadro 12. Grupos de referencia

DMU's	Valor E.P.	Referencias		
1-Madrid-Barajas	1	A1=1		
2-Barcelona-El Prat	1	A2=1		
3- Mallorca	0,9443876	A2=0,50	A6=0,49	
4-Málaga	0,60897411	A1=0,19	A2=0,20	A6=0,59
5-Gran Canaria	0,43748106	A1=0,11	A2=0,32	A6=0,55
6-Alicante-Elche	1	A6=1		
7-Tenerife Sur	0,86214953	A6=0,99		
8-Ibiza	0,80414959	A6=0,71	A17=0,28	
9-Lanzarote	0,65434745	A6=0,86	A17=0,13	
10-Valencia	0,55715308	A6=0,77	A14=0,22	
11-Fuerteventura	0,47539093	A6=0,99		
12-Sevilla	0,51776367	A6=0,66	A14=0,33	
13-Bilbao	0,35401567	A1=0,23	A17=0,46	A20=0,29
14-Tenerife Norte	1	A14=1		
15-Menorca	0,27115197	A6=0,99		
16-Santiago	0,60188393	A14=0,99	A17=0,0025	
17-Girona	1	A17=1		
18-Asturias	0,40040195	A14=0,49	A17=0,50	
19-Murcia-San Javier	0,37218147	A1=0,03	A17=0,07	A20=0,88
20-A Coruña	1	A20=1		

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, en el caso del aeropuerto de Bilbao tendría como referencia a tres aeropuertos; Madrid, Girona y A Coruña. Siempre se busca aquellos aeropuertos que tienen el máximo de características similares a él.

Si un aeropuerto, además de ser eficiente, es un gran referente para los demás, sirve para reafirmar su eficiencia. Sin embargo, si alguno de ellos simplemente aparece como referencia de ellos mismos, se podría cuestionar su posición de eficiente (Cuadro 13).

Cuadro 13. Aeropuertos más referenciados

DMU's	Nº de veces tomado como referencia
Madrid-Barajas	4
Barcelona-El Prat	2
Alicante-Elche	10
Tenerife norte	4
Girona	6
A Coruña	2

Fuente: Elaboración propia.

Como anteriormente se ha comentado, seis de los veinte aeropuertos según la versión BCC eran los eficientes. En el cuadro 13, se muestra como estos aeropuerto además de ser eficientes forman parte como grupo de referencias, por lo que se puede confirmar más aun su eficiencia. Alicante es el aeropuerto más referenciado de los seis, mientras que A Coruña tan solo ha sido referenciado dos veces.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha analizado la eficiencia del sector aeroportuario español en el año 2015. La muestra ha estado interpretada los 20 primeros aeropuertos en volumen de pasajeros en dicho año a los que se le ha aplicado la metodología DEA, una técnica no paramétrica. Con los resultados que se han obtenido y los conocimientos obtenidos, en este capítulo se expondrá las principales ideas.

De los 20 aeropuertos analizados bajo rendimientos constantes a escala, tan solo 3 resultaron eficientes; Madrid, Barcelona y Girona. En base a las características de los aeropuertos, era de esperar que, tanto el aeropuerto de Madrid como el de Barcelona, fueran a ser eficientes, ya que estos cuentan con los mejores datos tanto de pasajeros (46.828.838 y 39.711.237) como en toneladas de mercancías (381.069 y 177.219), respectivamente. Sin embargo, no era de esperar que, el pequeño aeropuerto de Girona, situado a 10 kilómetros de la capital de provincia y clasificado en el decimoséptimo puesto en función de pasajeros en 2015, fuera el tercero de los aeropuertos eficientes. Este aeropuerto tan solo cuenta con una sola terminal y con 45 destinos diferentes pero tiene una gran ventaja frente a sus competidores, su localización. El éxito de este aeropuerto puede ser su localización, cerca de la Costa Brava, de los Pirineos y de las ciudades de Girona y Barcelona, acaparando un volumen de 95.914 kg de mercancías (clasificándose aquí, en tercera posición en España en volumen de toneladas de mercancías).

Por tanto, se puede resumir que la clave del éxito de los tres aeropuertos más eficientes es, en el caso de Madrid y Barcelona, el gran volumen tanto de pasajeros como de mercancía y la gran oferta que tienen desde el punto de vista de destinos posibles, sin olvidar la localización del aeropuerto de Madrid (centro de España). En el caso de Girona, su éxito radica en aprovechar su localización para hacerse con el tráfico del mayor volumen de mercancías posible.

Por otro lado, el aeropuerto más ineficiente bajo rendimientos constantes a escala, con un índice de 0.199 es el aeropuerto de Asturias. Este aeropuerto contó con 1.119.273 pasajeros y con 10.758 vuelos en el año 2015, obteniendo unas pérdidas antes de impuestos de 3.780 millones de euros. Para mejorar su situación, debería de mejorar el número de destinos que ofrece y también el transporte de mercancías, ya que este último puede ser una importante fuente de ingresos.

Desde el punto de vista de la eficiencia técnica pura (donde los aeropuertos son comparados con los de su misma escala), se añaden 3 aeropuertos al anterior listado de aeropuertos eficientes: Alicante-Elche, Tenerife del Sur y A Coruña.

Por último debemos destacar el aeropuerto de Alicante-Elche al ser el aeropuerto eficiente más referenciado para el resto de aeropuertos (10 veces). Puede ser debido a ser uno de los aeropuertos más eficientes con características similares al de sus competidores, es decir, Alicante cuenta con unas características muy similares a Sevilla, Valencia o Menorca pero cuenta con una mayor eficiencia que estos tres últimos, por lo que Alicante es tomado para estos como una referencia a seguir.

Realizar estudios de estas características, nos puede servir de ayuda para la identificación de los aeropuertos que no deberían estar en funcionamiento, ya que generan un coste adicional a la empresa gestora, es decir, unas pérdidas. Además es muy útil para identificar cuáles son las fortalezas y debilidades de cada uno, para poder solucionarlas y mejorar su posicionamiento en los siguientes años.

Bibliografía

- Alberto Jaime, J. (2016): *Formulaciones en el Análisis Envolvente de Datos (DEA)*, Tesis doctoral, (Universidad de Sevilla).
- AENA (2016): *Presentación de resultados correspondiente al periodo anual 2016*, disponible en.
<http://www.aena.es/csee/Satellite/Accionistas/es/Page/1237572838468/1237568522644/>, [Consultado el 20/05/2017].
- Cachanosky, J.C. (2012): ``Procesos de Mercado``: *Revista Europea de Economía Política*, (IX), (2), pp. 30-42.
- Comisión Nacional de los Mercados y Competencia (2014): *El sector aeroportuario en España: Situación actual y recomendaciones de liberalización*. disponible en.
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/DD5FCB6426B003AB05257DEF005A8A72/\\$FILE/Estudio_Aeroportuario_Espa%C3%B1a.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/DD5FCB6426B003AB05257DEF005A8A72/$FILE/Estudio_Aeroportuario_Espa%C3%B1a.pdf). [Consultado el 10/05/2017].
- Da Silva, R. (2002): *Teorías de la Administración*», International Thomson Editores, México.
- De la Rosa Navarro, M. (2016); *El análisis envolvente de datos como herramienta para evaluar la eficiencia del sector hoteleros de la costa del sol*, Trabajo fin de grado, Universidad de Jaén
- De Rus Mendoza, G. (2016): *Informe FEDEA. Las infraestructuras en España: AVE y aeropuertos*. disponible en. <http://www.fedea.net/las-infraestructuras-en-espana-ave-y-aeropuertos/>. [Consultado el 23/05/2017].
- Esteban García, J. y Coll Serrano, V. (2003): ``Competitividad y Eficiencia``, *Estudios de Economía Aplicada*; 21(3), pp. 423-450.

- Gillén, D. (2011): ``The evolution of airport ownership and governance``, *Journal of Air Transport Management*, (17), (pp.3-13).
- Huerta de Soto, J. (2004): ``La teoría de la eficiencia dinámica``, *Procesos de mercado: Revista europea de economía política*, 1, pp.11-71.
- Koontz, H y Weihrich, H. (2004): *Un Perspectiva Global*, McGraw-Hill Interamericana, México.
- Robbins, S y Coulter, M. (2005): *Administración*, Pearson Educación, México.
- Somarriba Arechavala, M.N. (2008): *Aproximación a la medición de la calidad de vida social e individual en la Europa comunitaria*, Tesis doctoral de Ciencias Sociales, Universidad de Valladolid.
- Subdirección General de Transporte Aéreo: *Área de Estudios Estratégicos y Análisis de Mercado*, disponible en <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/B58B9959-78A6-41F2-AD4C-1BD5534B145D/137571/CoyuncompmercaereoEspa%C3%B1a abril2016.pdf>, [Consultado el 10/05/2017}].

Páginas webs usadas para la recolección de datos usados en DEA Solver

- Aeropuerto de A Coruña (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-a-coruna/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Alicante- Elche (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-alicante/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Asturias (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-asturias/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]

- Aeropuerto de Barcelona (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-barcelona/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Bilbao (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-bilbao/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Fuerteventura (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-fuerteventura/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Girona (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-girona/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Gran Canaria (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-gran-canaria/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Ibiza (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-ibiza/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Lanzarote (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-lanzarote/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Madrid (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-madrid/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]

- Aeropuerto de Málaga (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-malaga/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Menorca (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-menorca/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Murcia (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-murcia/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Palma de Mallorca (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-palma-mallorca/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Santiago (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-santiago/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Sevilla (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-sevilla/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Tenerife del Norte (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-tenerife-norte/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Tenerife del Sur (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-tenerife-sur/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]
- Aeropuerto de Valencia (2015), disponible en.
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-valencia/presentacion.html>.
[Consultado el 10/04/2017]