

Análisis dea-bootstrapping modelo de eficiencia financiera del sistema portuario español

Dea-bootstrapping analysis of the financial efficiency model of the spanish port system

José Ignacio Parra Santiago^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-8757-9814>
Alberto Camarero Orive²  <https://orcid.org/0000-0002-0614-8714>
Antonio Gil Ropero³  <https://orcid.org/0000-0002-7090-5353>
Nicoletta González Cancelas²  <https://orcid.org/0009-0008-6223-1900>
Javier Vaca Cabrero²  <https://orcid.org/0000-0002-0453-8989>

Recibido 04 de abril de 2021, aceptado 29 de agosto de 2023
Received: April 04, 2021 Accepted: August 29, 2023

RESUMEN

Para poder obtener la eficiencia financiera del sistema en su conjunto y de sus Autoridades Portuarias, se ha realizado un estudio de DEA-Bootstrapping model para averiguar el rendimiento global, metodología utilizada, principalmente para obtener eficiencias de terminales y aplicada al sistema portuario en este artículo.

Se han seleccionado inputs de índole económica, como son los activos totales y los ingresos netos de las tasas portuarias, frente a unos outputs operacionales, ya que son indicadores de resultados; las toneladas movidas en un año y los buques albergados en ese mismo periodo.

Entre las conclusiones extraídas, en primer lugar, la media global de la eficiencia financiera del sistema portuario español es baja, tanto para el año 2017 y 2018 (cercana al 0,44), provocado en gran parte por los activos de los que se compone el sistema.

En segundo lugar, los puertos con mayor eficiencia financiera son puertos consolidados en el sistema portuario español, con grandes tráfico y con los activos destinados a favorecer a la atracción de nuevos buques y nuevas mercancías.

Palabras clave: DEA Bootstrapping, eficiencia financiera, sistema portuario.

ABSTRACT

With the aim of obtaining the financial efficiency of the system as a whole and of its Port Authorities, a DEA-Bootstrapping model study has been performed to determine the overall performance, a methodology used mainly to obtain terminal efficiencies and applied to the port system in this article.

Economic inputs have been selected, such as total assets and net income from port charges, as opposed to operational outputs, as these are performance indicators; the tons moved in a year and the vessels housed in the same period.

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Universidad Politécnica de Madrid, España.
joseignacio.parra.santiago@upm.es

² Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, España.
alberto.camarero@upm.es; nicoleta.gcancelas@upm.es; j.vaca@upm.es

³ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cádiz, España.
antonio.gilropero@uca.es

* Autor de correspondencia: joseignacio.parra.santiago@upm.es

The conclusions drawn include, firstly, that the overall average financial efficiency of the Spanish port system was low for 2017 and 2018 (close to 0.44), primarily caused by the assets of which the system is composed.

Secondly, the ports with the highest financial efficiency are consolidated ports in the Spanish port system, with large volumes of traffic and assets designed to attract new vessels and goods.

Keywords: DEA Bootstrapping, financial efficiency, port system.

INTRODUCCIÓN

El sistema portuario español está compuesto por 28 Autoridades Portuarias que gobiernan un total de 46 puertos de los denominados de Interés General (Figura 1). Actualmente, este sistema altamente competitivo situado en un mercado marcado por la competencia ha movido en el año 2019 más de 560 millones de toneladas entre sus diferentes puertos, ya que nuestro sistema contiene grandes puertos de relevancia, tanto europea como internacional, en donde los grandes megabuques realizan escala en sus rutas “round the world”. Es cierto, que estos puertos no tienen las cifras de movimientos que los grandes puertos asiáticos, o los grandes puertos centro-europeos, pero sí de tal magnitud para situarse entre los 50 primeros del mundo y los primeros europeos.

El régimen económico del sistema portuario está basado en la autosuficiencia económica, es decir, a través de los ingresos que reciben las Autoridades Portuarias por el cobro de las distintas tasas portuarias. Puertos del Estado, como ente regulador revisa las cuentas de cada Autoridad Portuaria, y estudia y autoriza cada inversión económica que se quiera realizar en materia portuaria española. Por ello, con los ingresos de las tasas, las Autoridades Portuarias invierten en activos, es decir, en terrenos, edificios o infraestructuras, entre otros, para la mejora de la competitividad de sus puertos [1].

Una de las medidas que desde Puertos del Estado se ha tomado es la de imponer una rentabilidad mínima a las Autoridades Portuarias, es decir, se calcula dividiendo el resultado del ejercicio después

Fuente: Puertos del estado.



Figura 1. Mapa del conjunto de las 28 autoridades portuarias españolas.

de impuestos, excluyendo del mismo el deterioro y resultado por enajenaciones del inmovilizado y otros resultados que tengan el carácter de extraordinarios, así como los ingresos financieros correspondientes a la incorporación al activo de gastos financieros y el saldo del Fondo de Compensación Interportuario aportado o recibido; entre el activo no corriente neto medio del ejercicio, excluyendo el inmovilizado en curso, el inmovilizado correspondiente a terrenos y bienes naturales sobre los que no se haya desarrollado ningún tipo de actividad durante el ejercicio, los activos por impuestos diferidos y los deudores comerciales no corrientes. El resultado exigido debe ser al menos el 2,50%, que es un valor estimado de rentabilidad en el cual el puerto crece y se consolida en el mercado como un puerto competitivo y atractivo de tráficos, así como un puerto consolidado en el tráfico portuario.

Por ello, la rentabilidad es un valor adimensional que nos puede facilitar mucha información de cómo es y cómo está funcionando un puerto. Es verdad, que en ocasiones la rentabilidad no refleja de una manera exacta el buen funcionamiento del puerto, ya que puede haber realizado grandes inversiones en terrenos que aún no están siendo explotados y esto en la fórmula del cálculo de la rentabilidad afecta; o que una Autoridad Portuaria tenga terrenos a su nombre y la finalidad de dichos terrenos no sean meramente portuarios, sino de interés para la ciudad, como pueden ser los casos de los paseos marítimos ejecutados por la Autoridad Portuaria. Pero en general, el valor de la rentabilidad sí refleja lo rentable que está siendo en un periodo de tiempo un puerto o un sistema. En el año 2018, y según datos de Puertos del Estado, el conjunto agregado del sistema portuario español obtuvo un 2,54% de rentabilidad, superando el 2,50% marcado por el ente público Puertos del Estado. Esto refleja la buena tendencia que viene marcando el sistema con registros históricos en movimiento de mercancías en todo su conjunto (en toneladas totales), batiéndose el récord año a año, por poco crecimiento que sea.

Lo que se pretende analizar en este artículo es mediante la herramienta de Análisis Envolvente de Datos (DEA), analizar la eficiencia financiera del sistema portuario español de sus 28 Autoridades Portuarias, o lo que es lo mismo, de sus 46 puertos de Interés General [2]. Como se viene realizando, numerosos estudios utilizan esta metodología para medir la eficiencia de determinados sistemas

portuarios, agrupamientos de puertos o, en mayor medida, de las terminales de contenedores en diferentes puertos a lo largo de la geografía mundial.

Por ello, la aplicación de la palabra eficiencia que se va a llevar a cabo en este artículo va a ser: *“La eficiencia es la relación entre un ingreso y un gasto; entre una entrada y una salida; entre un recurso y un producto”*.

La expresión en cualquiera relación de eficiencia toma la forma de una proporción: un output dividido por un input, y se presenta en forma matemática de la siguiente forma:

$F = E/I$ (F = eficiencia; I = output especificado; E = input especificado).

Se puede definir eficiencia económica como la eficiencia con la cual un sistema económico utiliza los recursos productivos a fin de satisfacer sus necesidades. El concepto significa en materias de producción, utilizar los factores de producción en combinaciones de menor coste, en consumo, asignación de gastos que maximicen la satisfacción del consumidor [4].

Y se puede definir eficiencia financiera como el grado de eficiencia en que se utilizan los recursos disponibles para la obtención de los resultados financieros deseables.

Un estudio de [5], desarrolla una metodología para determinar una serie de tareas que forman la estructura del sistema económico de las terminales marítimas de contenedores; significa que el sistema de evaluación de la eficiencia económica de las terminales marítimas de contenedores debería percibirse como una parte y un todo jerárquico de varios niveles, que es un subsistema de un sistema de nivel superior, por ejemplo, un sistema de gestión de las terminales de contenedores, y al mismo tiempo es un sistema que consta de subsistemas (o elementos).

ESTADO DEL ARTE

Los métodos para estimar la eficiencia pueden ser divididos en dos [6]: métodos paramétricos, que estiman una frontera estocástica por técnicas econométricas; y métodos no paramétricos, como el DEA, que se basa en la resolución del modelo por programación lineal.

El primer modelo propuesto de frontera econométrica, que se denomina frecuentemente frontera determinística, suponía la eficiencia explicada por una variable aleatoria no negativa.

Posteriormente, Aigner, Lovell y Schmidt [7] y Meeusen y Van den Broeck [8] propusieron independientemente la función frontera estocástica de producción. Ésta se diferencia de la anterior en la estructura del término de error. Se trata de un error compuesto por dos elementos: variable aleatoria no-negativa asociada con la ineficiencia técnica en la producción y, error aleatorio simétrico fuera del control de la empresa que tiene en cuenta otros factores, tales como el error de medida en la variable tomada como producto, errores de omitir variables significativas del modelo, el tiempo, el azar, etc.

La mayor ventaja de DEA es su flexibilidad, en el sentido de que impone condiciones menos restrictivas sobre la tecnología de referencia (forma de la función de producción) y también en cuanto a que se adapta a contextos multiproducto e, incluso, de ausencia de precios, con relativa sencillez. Otra ventaja del DEA es que permite relacionar simultáneamente todos los inputs con los outputs, pudiendo identificarse cuales inputs están siendo infrutilizados.

La técnica del Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica de programación lineal que facilita la construcción de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica, a partir de los datos disponibles del conjunto de entidades objeto de estudio, de forma que aquellas que determinan la envolvente son denominadas entidades eficientes, y permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las entidades [9].

La técnica DEA, que resulta de una extensión del trabajo de Farrell [10], fue desarrollada por Rhodes [11] en su tesis doctoral. Ese mismo año aparece publicado, en *European Journal of Operational Research*, el artículo “Measuring the Efficiency of Decision Making Units” [12], en el que se presenta la formalización del primer modelo DEA, popularmente conocido como modelo DEA-CCR.

Entre las hipótesis que supone el modelo DEA-CCR se encuentran: convexidad, fuerte eliminación gratuita de inputs y outputs y rendimientos constantes a escala. La relajación de esta última, al permitir que

la tecnología de producción exhiba rendimientos variables a escala, se debe a [13], dando lugar al denominado modelo DEA-BCC. Ambos proporcionan medidas de eficiencia radial (proporcional), input u output orientadas. En este último sentido, debe tenerse presente que, siguiendo a [12], la eficiencia puede ser caracterizada con relación a dos orientaciones básicas: orientación input, u orientación output.

- Los modelos outputs orientados que buscan, dado el nivel de inputs, el máximo incremento proporcional de los outputs permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción. En este sentido una entidad no puede ser caracterizada como una eficiente si es posible incrementar cualquier output sin incrementar ningún input y sin disminuir ningún otro output.
- Los modelos input orientados, que persiguen la máxima reducción proporcional en el vector de inputs mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. Una entidad no es eficiente si es posible disminuir cualquier input sin alterar sus outputs.

Los modelos DEA-CCR suponen que la tecnología satisface, entre otras, la propiedad de rendimientos constantes a escala, y proporcionan una medida de eficiencia técnica (global). Banker, Charnes, and Cooper [13], relajan este supuesto al permitir que la tecnología presente rendimientos variables a escala. La operatividad de este supuesto se traduce en la adición de la denominada restricción de convexidad, eliminando de esta forma la influencia de la escala de producción. La medida de eficiencia así obtenida s una medida de eficiencia técnica pura, se trata de medidas de eficiencia técnica “netas de cualquier efecto escala” [14].

La tipología de resultados que pueden obtenerse como consecuencia de aplicar el modelo DEA-BCC en la evaluación de eficiencia de un conjunto de entidades es similar a la que proporciona el modelo DEA-CCR, solo que ahora es posible descomponer la eficiencia técnica en eficiencia técnica pura y escala, así como determinar, para cada entidad particular, el tipo de rendimiento con el que localmente opera [15].

La Tabla 1 representa la revisión bibliográfica de las principales aportaciones en el campo del análisis DEA portuario.

Tabla 1. Revisión bibliográfica de los inputs y outputs utilizados para nuestro DEA-Bootstrapping.

Año	Autor	Alcance del Estudio	Input	Output	Modelo
2003	Wang, T., Song, D.W. y Cullinane, K. [16]	28 puertos del TOP 30 (2001) mundo y 57 terminales	1. Longitud de muelles 2. Superficie de la terminal 3. N° Grúas de muelle 4. N° Grúas de patio 5. N° Straddle carriers	1. TEUs manipulados	DEA-CCR-I DEA-BCC-I Función Estocástica de Cobb-Douglas
2003	Barros, C.P. [17]	5 puertos portugueses 1999 - 2000	Eficiencia Técnica 1. N° de empleados/Mano de obra 2. Valor contable de los activos Eficiencia Localizada 1. Coste de la mano de obra - Salarios y beneficios divididos por el número de empleados 2. Coste de la inversión - gasto del equipamiento y de la instalación dividido por el valor teórico de los activos inmovilizados	1. N° de barcos 2. Movimiento de la carga 3. Toneladas brutas de los barcos 4. Cuota de mercado 5. Toneladas de carga a granel 6. Toneladas de carga contenerizada 7. Toneladas de trafico Ro-Ro 8. Toneladas de carga seca a granel 9. Toneladas de Líquidos 10. Ingresos netos	DEA
2004	Barros, C.P. y Athanassiou, M. [18]	4 puertos portugueses y 2 griegos 1998 - 2000	1. N° de empleados/Mano de obra 2. Valor contable de los activos	1. N° de barcos 2. Toneladas movidas de carga 3. Toneladas de carga manipulada 4. Toneladas de contenedores manipulados	DEA-BCC DEA-CCR
2005	Lin, L. y Tseng, L. [19]	27 Puertos internacionales de Contenedores 1999 - 2002	1. N° Grúas de muelles 2. Longitud de muelles 3. Equipamiento del patio (n°) 4. Superficie de almacenamiento	1. TEUs manipulados	SFA DEA-CCR DEA-BCC
2007	Cullinane, K. y Wang, T. [20]	69 Terminales de contenedores de 24 países europeos 2002	1. Longitud de la terminal 2. Superficie de la Terminal 3. N° Equipamiento	1. TEUs manipulados	DEA-CCR DEA-BCC
2011	Hu, Chiu, Y., Huang, Ch. y Ma, Ch. [21]	30 Regiones de China (Costa, Central y Oeste)	1. Fuel consumido 2. Vehículos de pasajeros 3. Vehículos de mercancías 4. Densidad de Autopistas 5. Transporte de pasajeros 6. Transporte de mercancías 7. Accidentes de tráfico 8. Empleos 9. Activos fijos	1. Valor producción 2. Industria contaminante	DEA
2016	Gil Ropero, A. [22]	Puerto de Algeciras y el resto de Autoridades Portuarias (28).	1. Número de grúas. 2. Superficie de la Terminal. 3. Metros lineales de muelle con calado > 14m.	1. TEUs. 2. Número de buques portacontenedores.	DEA-CCR DEA-BCC
2018	Gil Ropero, A., Turias Domínguez, I. y Cerbán Jiménez, M.M. [23]	28 Autoridades Portuarias Españolas y 7 Autoridades Portuarias Portuguesas	1. TEUs.	Ships.	DEA-CCR DEA-Bootstrapping

Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

La DEA es una eficiente técnica de frontera que calcula una relación comparativa de salidas

ponderadas con entradas ponderadas para cada unidad de decisión utilizando una programación lineal. El programa lineal escala la estimación de eficiencia relativa entre 0 y 1, permitiendo así

una fácil comparación, en la que 1 representa una operación eficiente en relación con otras de la muestra, y una unidad de decisión con una puntuación inferior a 1 se define como ineficiente. En el corazón de este concepto se encuentra la condición de la optimización de Pareto para una producción eficiente. La optimización de Pareto establece que una unidad de decisión no es eficiente si es posible aumentar una salida sin aumentar ninguna de las entradas y sin disminuir ninguna otra salida; de manera similar, un DMU (Data Management Unit, en inglés) no es eficiente si es posible disminuir una entrada sin disminuir ninguna de las salidas y sin aumentar ninguna otra entrada [24].

La idea básica de la DEA es transformar las entradas en salidas para poder determinar la eficiencia de las DEA. Este concepto de eficiencia se basa en el supuesto de que, durante el proceso de transformación de los insumos en productos, se deben consumir algunos recursos como la mano de obra, la tierra y el capital. Por lo tanto, las puntuaciones de eficiencia de los productos/insumos deben ser siempre inferiores o iguales a 1. Debido a que las unidades de decisión eficientes tienen un puntaje de eficiencia igual a 1, las unidades de decisión ineficientes se determinan relativamente comparándolas con las eficientes. Recientemente, se ha señalado a la atención de los investigadores un innovador modelo de DEA orientado a la producción desarrollado por Fernandez-Castro y Smith [25]. Al-Shammari y Salimi [26] adoptaron los modelos de DEA basados en la proporción financiera para evaluar el rendimiento de los bancos en Jordania, y Halkos y Salamouris [27] aplicaron este modelo de DEA adoptado para medir la eficiencia de la banca griega.

El presente estudio adopta una interpretación popular del enfoque de intermediación, en la que se sigue un enfoque de eficiencia técnica con la motivación de captar el éxito de un sistema portuario en la maximización de su rentabilidad, en la búsqueda a través de la eficiencia financiera.

En este documento se adopta el modelo de la DEA basado en la ratificación financiera para evaluar la eficiencia de los puertos del sistema portuario español. El modelo DEA basado en la ratificación financiera proporciona un juicio redondeado sobre la eficiencia portuaria al tomar en consideración

múltiples ratios financieros simultáneamente y combinarlos en una única medida de eficiencia. El modelo matemático se resuelve para cada puerto y se determina la eficiencia relativa de cada uno de ellos. Los resultados de la DEA demuestran que cuanto mayor sea el coeficiente de eficiencia de un puerto en relación con el coeficiente correspondiente de otro puerto, mayor será la eficiencia de este último. Caso similar al estudiado por [3], para los puertos chinos.

El número de datos con respecto al número de inputs y outputs mantiene la regla de:

$$n^{\circ} \text{ datos} > \begin{cases} \text{inputs} \cdot \text{outputs} \\ \text{ó} \\ 3 \cdot (\text{inputs} + \text{outputs}) \end{cases} ;$$

lo cual permite que el análisis DEA-Bootstrapping model (Figura 2) se pueda realizar sin inconvenientes, ya que todos los datos analizados son positivos. En este aspecto, se ha tenido en cuenta en la búsqueda y selección de indicadores (inputs y outputs) para tratar de obtenerlos todos positivos y poder analizar el sistema portuario español al completo (las 28 Autoridades Portuarias), sin tener que omitir ninguna.

La formulación que en análisis DEA con orientación output, propone identificar la ineficiencia con un aumento proporcional en la obtención de la producción, dicho en otras palabras, donde se maximiza la salida para un determinado nivel de entrada; utilizado en este artículo es la siguiente (ecuaciones (1) - (5)):

$$\max \theta + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n (\lambda_j x_{ij}) + S_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n (\lambda_j y_{rj}) - S_r^+ = \theta y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s; \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (5)$$

Donde:

y_{ro} y x_{io} : la r_{th} salida y i_{th} entrada para un DMUo en evaluación.

Fuente: Elaboración en base a [23].

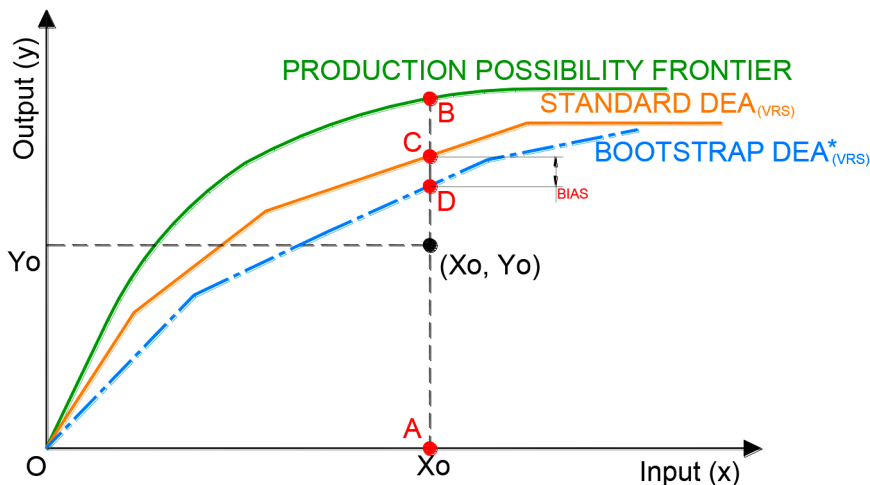


Figura 2. Representación gráfica del modelo DEA-Bootstrapping orientación output.

- λ_j : las variables de decisión que representan los pesos que DMU j colocaría en DMU o para construir su eficiente conjunto de referencia.
- θ : la distancia proporcional en entradas a la envoltura y por lo tanto la medición del índice de eficiencia técnica.
- ε : el menor número positivo real.
- S_i y S_r : los posibles desfases o factores de exceso para cada entrada.

Inputs

Para este análisis se han utilizado un total de dos inputs, relacionados con la actividad económica de las Autoridades Portuarias, y dos outputs, relacionados con el tráfico que dicha Autoridad Portuaria obtiene. Para ello, se han estudiado dos años de referencia, como son los de 2017 y 2018, hasta los cuales se obtienen datos que han sido confirmados y publicados, y se les ha analizado mediante un DEA-Bootstrapping model [28] con orientación en outputs, en el que se obtiene una primera eficiencia y un margen de error, a la cual se corrige y aplica la fórmula inversa para la obtención de dicha “Eficiencia financiera”.

El trabajo de Simar y Wilson [28] fue el primero en introducir el procedimiento bootstrap, propuesto inicialmente por Efron [29], para llevar a cabo inferencia estadística; proporcionaba una estimación del sesgo, así como la varianza y, a partir de ahí, intervalos de confianza.

Los inputs a considerar han sido escogidos por la facilidad de acceso a dichos datos, y tratarse de inputs que pocas veces hayan sido utilizados en otros estudios, además de buscar un perfil financiero para el análisis de la eficiencia del sistema en su conjunto. Estos inputs son: Total de activos de cada Autoridad portuaria, bienes que posee la respectiva Autoridad portuaria y que pueden trasladarse a unidades monetarias (euros), mediante la venta de estos; y el ingreso neto anual del cobro de las diferentes tasas portuarias (euros), ya que en función de la actividad comercial predominante de cada Autoridad Portuaria y de la influencia comercial en su hinterland y foreland cercano, cada Autoridad Portuaria gestiona bien sus tráfico y modelos de explotación para cada tipología de tráfico predominante en su o sus puertos.

Outputs

Los outputs, han sido escogidos dado el grado de representatividad, ya que son datos que miden muy bien el conjunto de un sistema o en mayor detalle los componentes de este. Por ello, el número de toneladas que mueve cada Autoridad Portuaria y el número de buques que esta acoge a lo largo del año de estudio son outputs de salida que, además de estar presentes en numerosos estudios, reflejan la relación directa con las tasas y los activos que las Autoridades Portuarias puedan contar para albergar a dichos buques o sus mercancías (toneladas), además de otras infraestructuras relacionadas con tráfico determinados.

Visualización de los datos

Los datos de partida de los años 2017 y 2018 son los siguientes (Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5):

Los resultados, son producto de una serie de análisis DEA-BCC en donde se obtienen unas eficiencias sin corregir (VRS Efficiency), las cuales a posteriori se corrigen para poder determinar la eficiencia financiera atribuible a cada Autoridad Portuaria. La columna de Bias, corresponde al valor del error de la eficiencia VRS Efficiency, por ello se obtiene una eficiencia corregida (VRS Efficiency*) para obtener mediante la fórmula de: $1/V_{RS} Efficiency^*$, la eficiencia real. Representado visualmente en la Figura 3.

El modelo DEA es relativamente sencillo de estimar, pero tiene diversas limitaciones. Con independencia del objetivo perseguido en trabajos que utilizan este tipo de medidas básicas, como la simple búsqueda de las unidades más eficientes, o de las proyecciones hacia la frontera, resulta de gran importancia poner de relieve que el estimador de la medida de eficiencia está sesgado desde su propia construcción¹⁰; de hecho, Simar y Wilson [30] señalan que en todas las aplicaciones recopiladas el sesgo inherente de los coeficientes de eficiencia había sido ignorado. Con el fin de considerar la naturaleza estocástica del problema de estimación utilizamos el procedimiento de Simar y Wilson [30] para corregir el sesgo en las estimaciones de los

Tabla 2. Tabla de datos de los inputs del año 2017 y 2018.

Port Authority	Total Activos (euros)			Tasas Portuarias (euros)		
	2017	2018	Change (%)	2017	2018	Change (%)
A Coruña	831.093.000	827.075.000	-0,48%	29.484.903,82	30.842.186,42	4,60%
Alicante	184.042.000	183.338.000	-0,38%	11.406.196,58	10.846.776,47	-4,90%
Almería	194.346.000	192.425.000	-0,99%	13.266.650,87	13.683.820,17	3,14%
Avilés	164.273.000	165.342.000	0,65%	14.579.325,90	15.385.000,00	5,53%
Bahía de Algeciras	1.040.810.000	1.053.303.000	1,20%	70.929.788,12	72.642.910,96	2,42%
Bahía de Cádiz	328.259.000	332.566.000	1,31%	18.432.182,63	18.273.628,31	-0,86%
Baleares	598.556.000	622.556.000	4,01%	49.405.530,18	53.123.982,33	7,53%
Barcelona	2.111.090.000	2.056.531.000	-2,58%	152.446.000,00	158.862.000,00	4,21%
Bilbao	914.463.000	938.894.000	2,67%	65.872.000,00	67.730.000,00	2,82%
Cartagena	498.705.000	507.753.000	1,81%	43.264.000,00	43.901.000,00	1,47%
Castellón	279.834.000	289.505.000	3,46%	25.269.930,71	27.881.638,18	10,34%
Ceuta	110.403.000	108.533.000	-1,69%	13.622.424,68	14.011.394,59	2,86%
Ferrol-San Cibrao	244.557.000	247.424.000	1,17%	17.884.416,24	18.892.891,69	5,64%
Gijón	975.371.000	944.821.000	-3,13%	46.712.070,00	40.735.950,00	-12,79%
Huelva	603.538.000	641.314.000	6,26%	40.420.395,02	40.828.709,60	1,01%
Las Palmas	800.669.000	804.457.000	0,47%	69.134.950,00	72.569.420,00	4,97%
Málaga	204.430.000	199.377.000	-2,47%	14.750.727,03	16.003.032,22	8,49%
Marín y Ría de Pontevedra	112.388.000	115.077.000	2,39%	8.564.861,56	8.707.357,45	1,66%
Melilla	126.633.000	121.758.000	-3,85%	8.206.147,35	7.954.926,82	-3,06%
Motril	82.769.000	81.144.000	-1,96%	6.706.098,99	6.969.000,00	3,92%
Pasaia	162.014.000	161.965.000	-0,03%	11.505.971,28	11.525.000,00	0,17%
Santa Cruz de Tenerife	709.725.000	715.921.000	0,87%	43.800.675,95	42.746.319,87	-2,41%
Santander	341.759.000	345.933.000	1,22%	18.816.791,29	20.094.000,00	6,79%
Sevilla	516.620.000	501.909.000	-2,85%	18.567.504,56	18.648.000,00	0,43%
Tarragona	544.013.000	547.469.000	0,64%	54.244.058,58	54.016.690,95	-0,42%
Valencia	1.400.106.000	1.395.950.000	-0,30%	123.499.000,00	122.963.000,00	-0,43%
Vigo	302.547.000	315.018.000	4,12%	22.558.802,44	27.085.507,60	20,07%
Vilagarcía	75.739.000	74.113.000	-2,15%	4.547.928,86	4.563.957,49	0,35%

Fuente: Elaboración propia con datos de Puertos del Estado.

Tabla 3. Tabla de datos de los outputs del año 2017 y 2018.

Port Authority	Toneladas (T)			Buques (No.)		
	2017	2018	Change (%)	2017	2018	Change (%)
A Coruña	15.198.929	15.703.803	3,32%	1.195	1.221	2,18%
Alicante	3.447.604	3.191.163	-7,44%	838	732	-12,65%
Almeria	6.381.127	7.060.555	10,65%	2.074	1.972	-4,92%
Avilés	4.806.910	5.024.863	4,53%	829	823	-0,72%
Bahía de Algeciras	101.555.971	107.361.029	5,72%	28.249	28.913	2,35%
Bahía de Cádiz	4.115.252	3.955.515	-3,88%	1.149	1.197	4,18%
Baleares	15.649.443	16.453.613	5,14%	44.214	50.366	13,91%
Barcelona	61.366.941	67.756.258	10,41%	8.974	9.038	0,71%
Bilbao	34.306.674	35.695.401	4,05%	2.855	2.925	2,45%
Cartagena	34.688.199	33.941.690	-2,15%	2.127	2.203	3,57%
Castellón	17.910.534	21.137.627	18,02%	1.705	1.856	8,86%
Ceuta	2.545.553	2.448.438	-3,82%	10.772	11.147	3,48%
Ferrol-San Cibrao	13.584.102	13.707.823	0,91%	1.108	1.130	1,99%
Gijón	21.820.520	19.699.445	-9,72%	1.298	1.229	-5,32%
Huelva	32.332.572	32.966.864	1,96%	2.291	2.396	4,58%
Las Palmas	27.021.629	26.974.184	-0,18%	11.446	12.283	7,31%
Málaga	2.922.300	3.320.198	13,62%	1.551	1.764	13,73%
Marín y Ría de Pontevedra	2.523.054	2.541.733	0,74%	549	500	-8,93%
Melilla	1.152.554	873.528	-24,21%	1.869	1.776	-4,98%
Motril	2.362.151	2.852.896	20,78%	1.345	1.357	0,89%
Pasaia	2.974.799	3.138.321	5,50%	865	911	5,32%
Santa Cruz de Tenerife	13.674.878	13.051.755	-4,56%	13.359	16.400	22,76%
Santander	5.622.370	5.984.392	6,44%	1.522	1.626	6,83%
Sevilla	4.558.579	4.436.320	-2,68%	1.030	1.016	-1,36%
Tarragona	33.700.184	32.084.325	-4,79%	2.655	2.554	-3,80%
Valencia	73.559.877	76.621.101	4,16%	7.715	7.722	0,09%
Vigo	4.233.692	4.362.465	3,04%	1.724	1.726	0,12%
Vilagarcía	1.205.966	1.211.306	0,44%	323	336	4,02%

Fuente: Elaboración propia con datos de Puertos del Estado.

Tabla 4. Resumen estadístico de los inputs (2017 y 2018).

	Total, Activo		Tasas portuarias	
	2017	2018	2017	2018
Media	516.384.000,00	517.552.535,71	36.353.547,59	37.196.003,61
Valor máximo	2.111.090.000	2.056.531.000	152.446.000,00	158.862.000,00
Valor mínimo	75.739.000	74.113.000	4.547.928,86	4.563.957,49
Desviación Estándar	466.090.765,72	459.630.822,32	35.099.098,19	35.905.937,96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Resumen estadístico de los outputs (2017 y 2018).

	Toneladas		Barcos	
	2017	2018	2017	2018
Media	19.472.227,29	20.127.021,82	5.558,25	5.968,54
Valor máximo	101.555.970,97	107.361.029,00	44.124	50.366
Valor mínimo	1.152.554,00	873.528,00	323	336
Desviación Estándar	24.351.810,48	25.708.484,08	9.637,61	10.743,69

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Visualización de resultados del Modelo DEA-BCC.

índices de eficiencia VRS, estimando al mismo tiempo los intervalos de confianza.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos, a través de los inputs y outputs seleccionados en función de su naturaleza, permiten obtener una visión general de cómo está funcionando nuestro sistema portuario, mediante el análisis individual de cada Autoridad Portuaria. Además, estos resultados permiten conocer y analizar Autoridad Portuaria desplazada del conjunto de las 28, o analizarla según puertos cercanos para poder compararla.

Recordar, que este artículo muestra la eficiencia financiera por la cual se han tenido en cuenta los activos, es decir, un bien que la Autoridad Portuaria posee, que puede trasladarse en unidades monetarias (euros). Por ello, las eficiencias que aquí se muestran están directamente relacionadas con los activos que cada Autoridad Portuaria posee, además de los ingresos netos anuales por el cobro de las diferentes tasas portuarias.

Frente a los outputs de referencia en un sistema portuario, que son: el tráfico total movido en toneladas en un año, y en este caso se ha elegido, además, el número de buques como output representativo, ya que está directamente relacionado con el ingreso de las diferentes tasas que a un buque se le cobran. Pero esto no quiere decir, que a mayor número de buques se pueden esperar mayores eficiencias, sino que existe relación entre los ingresos, la eficiencia se calcula con el modelo y se obtienen valores muy dispares entre las diferentes Autoridades Portuarias.

Con un error de alfa igual a 0,05 (5%), se obtienen las siguientes tablas de resultados de la eficiencia (Tabla 6 y Tabla 7):

Los resultados obtenidos son destacados, ya que de las 28 Autoridades Portuarias solo 5 alcanzan el valor frontera DEA e 1,0000, siendo estas Autoridades Portuarias: Bahía de Algeciras, Baleares, Ceuta, Motril y Vilagarcía. Pero los valores obtenidos en el análisis Bootstrap los valores difieren de estar cerca de la plena eficiencia, ya que las 5 Autoridades Portuarias obtienen valores en torno al 0,7.

El valor Bootstrap más alto lo alcanza la Autoridad Portuaria de Castellón (0,76454), pero no alcanzando la eficiencia pura en el análisis DEA, como sí alcanza Bahía de Algeciras y alcanzando la segunda mejor eficiencia Bootstrap (0,73699).

El valor más bajo se le atribuye a la Autoridad Portuaria de Vigo, alcanzando en los dos análisis los valores más bajos (0,16813 y 0,14321 respectivamente). Puede ser debido a la gran variabilidad de sus ingresos por tasas en función del poco crecimiento en número de buques.

Hay casos, en los que no se alcanzan los valores de 0,2 o 20% en el análisis Bootstrap, como son los casos de: Vigo, Bahía de Cádiz, Sevilla o Málaga; que son las Autoridades con valores más bajos. Podría asumirse que es debido a unos valores bajos de ingresos y activos, pero no es el caso, ya que hay otras Autoridades Portuarias con datos similares no han obtenido eficiencias tan bajas.

Se observan en la Tabla 6, los resultados obtenidos del DEA-BCC con orientación output, en las cuales los valores no superan el 0,75 o 75% de eficiencia. Los valores obtenidos que superan el 0,7 o 70% de eficiencia en ambos análisis son: Bahía de Algeciras, Motril y Baleares, en ese mismo orden en los dos años de estudio. Esas tres Autoridades Portuarias son las que obtienen mayores eficiencias, bien porque tienen grandes cantidades de activos, así como de ingresos de las tasas en los inputs, y grandes tráficos y números de buques en los outputs; pero destacable el caso de Motril, que no teniendo

Tabla 6. Resultados de la eficiencia DEA-Bootstrapping obtenida (años 2017-2018).

DMU No.	DMU Name	BCC Efficiency				Media 2017-18	
		2017		2018		DEA	BOOT
		DEA	BOOT	DEA	BOOT		
1	A Coruña	0,39068	0,35722	0,37226	0,33761	0,38147	0,34742
2	Alicante	0,29788	0,26797	0,28991	0,26135	0,29390	0,26466
3	Almería	0,47410	0,42129	0,48871	0,43107	0,48141	0,42618
4	Avilés	0,44505	0,41991	0,42211	0,39281	0,43358	0,40636
5	Bahía de Algeciras	1,00000	0,74214	1,00000	0,73184	1,00000	0,73699
6	Bahía de Cádiz	0,18575	0,16567	0,18255	0,16223	0,18415	0,16395
7	Baleares	1,00000	0,71629	1,00000	0,70772	1,00000	0,71201
8	Barcelona	0,60427	0,50055	0,63111	0,52087	0,61769	0,51071
9	Bilbao	0,38776	0,31872	0,37550	0,30236	0,38163	0,31054
10	Cartagena	0,76360	0,69520	0,69676	0,62528	0,73018	0,66024
11	Castellón	0,78673	0,74408	0,83707	0,78499	0,81190	0,76454
12	Ceuta	1,00000	0,69083	1,00000	0,68854	1,00000	0,68969
13	Ferrol-San Cibrao	0,71071	0,66113	0,66131	0,60691	0,68601	0,63402
14	Gijón	0,33598	0,29224	0,34194	0,30230	0,33896	0,29727
15	Huelva	0,58326	0,50272	0,57080	0,49035	0,57703	0,49654
16	Las Palmas	0,39775	0,31220	0,39007	0,30266	0,39391	0,30743
17	Málaga	0,23044	0,20126	0,23577	0,19928	0,23311	0,20027
18	Marín y Ría de Pontevedra	0,46752	0,41973	0,40691	0,36242	0,43722	0,39108
19	Melilla	0,45450	0,37106	0,43890	0,35656	0,44670	0,36381
20	Motril	1,00000	0,73709	1,00000	0,72264	1,00000	0,72987
21	Pasaia	0,28503	0,25776	0,28206	0,24975	0,28355	0,25376
22	Santa Cruz de Tenerife	0,43485	0,34005	0,49322	0,38313	0,46404	0,36159
23	Santander	0,24685	0,22078	0,23600	0,20587	0,24143	0,21333
24	Sevilla	0,20351	0,18719	0,19146	0,17348	0,19749	0,18034
25	Tarragona	0,67241	0,61049	0,60556	0,54287	0,63899	0,57668
26	Valencia	0,72433	0,59965	0,71368	0,58493	0,71901	0,59229
27	Vigo	0,17464	0,14795	0,16161	0,13846	0,16813	0,14321
28	Vilagarcía	1,00000	0,68834	1,00000	0,68628	1,00000	0,68731

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Resumen estadístico de los resultados DEA-Bootstrapping (2017 y 2018).

Metodología utilizada	2017			2018			Media 2017-18	
	Media	Desviación estándar	Intervalo confianza 95%	Media	Desviación estándar	Intervalo confianza 95%	Media	Desviación estándar
DEA	0,54491	0,27734	[0,4422, 0,6476]	0,53662	0,27882	[0,4433, 0,6399]	0,54077	0,27771
Bootstrap DEA	0,44963	0,20317	[0,3744, 0,5288]	0,43766	0,20061	[0,3633, 0,5119]	0,44364	0,20146

Fuente: Elaboración propia.

ninguna de las cualidades descritas, alcanza el tercer valor más alto de eficiencia, y superando el 0,7 o 70%; es decir, nos encontramos ante una Autoridad Portuaria eficiente financieramente.

Más de la mitad se pueden considerar como Autoridades Portuarias ineficientes o poco eficientes, ya que no alcanzan el 50%, superando dicho umbral 12 de las 28 Autoridades Portuarias. Pero, además,

en el análisis DEA-Bootstrap son 17 Autoridades Portuarias las que no alcanzan la cifra del 50% de eficiencia financiera, es decir, que más del 60% de las Autoridades Portuarias no cumplen la eficiencia financiera, como son: A Coruña, Alicante, Almería, Avilés, Bahía de Cádiz, Bilbao, Gijón, Huelva, Las Palmas, Málaga, Marín y Ría de Pontevedra, Melilla, Pasia, santa Cruz de Tenerife, Santander, Sevilla y Vigo.

CONCLUSIONES

Con el análisis DEA- Bootstrapping model se han extraído los resultados que se deseaban estudiar obteniéndose de ellos unas conclusiones satisfactorias.

En primer lugar, la media global de la eficiencia financiera del sistema portuario español es baja, cercana al 0,54 y al 0,44 respetivamente, provocado en gran parte por los activos de los que se compone el sistema. Bien es cierto, que en muchas de las ocasiones se encuentran en los diferentes puertos una amplia oferta de las mismas instalaciones a lo largo de nuestro litoral. Por ello, esa duplicidad de infraestructuras, en ocasiones en distancias próximas, provocan duplicidades de activos, no viéndose repercutidos en aumento del tráfico de mercancías, y más aún, en mayor atractivo para poder acoger un mayor número de buques, lo que se traduce a su vez, en menos ingresos por las diferentes tasas portuarias.

Además, las medias del sistema portuario español disminuyen respecto del año 2017 al 2018 en 0,011 puntos, y la mayoría de las Autoridades Portuarias también sufre un leve descenso en sus valores obtenidos de eficiencia financiera. Esto puede ser debido a que año tras año se invierte en activos, lo que provoca un aumento del activo, que se recupera mediante una amortización con el paso de los años, y no se ve repercutido directamente en el ingreso de las tasas o aumento del número de buques, lo que se traduce en toneladas, hasta pasado un periodo de tiempo.

Lo que se propone, es analizar de manera más exhaustiva la relación que puede existir en la eficiencia financiera con la técnicamente operativa para corroborar que dichos resultados concuerdan con las hipótesis que se plantean a modo de

conclusiones de la posiblemente duplicidad de las infraestructuras.

También, comentar, el extraño caso de Motril, ya que no siendo un puerto de los denominados “grandes” del sistema portuario español, obtiene unos resultados muy satisfactorios para los tráficos que alberga. Es decir, que con las instalaciones que mantiene, y los tráficos que acoge, encuentra un equilibrio financiero que no implica en la modificación o adquisición de nuevos activos para beneficiarse en incrementar sus datos, sino que con tráficos consolidados de manera regular logra obtener este resultado tan beneficioso para nuestro sistema portuario y poder hacerlo destacable.

En segundo lugar, los puertos con mayor eficiencia financiera son puertos consolidados en el sistema portuario español, con grandes tráficos y con los activos destinados a favorecer a la atracción de nuevos buques y nuevas mercancías, y/o a desempeñar una gran labor operativa en la manipulación de estas. Se puede echar en falta algún que otro puerto, pero ello es debido al gran activo que posee y no está dedicado expresamente al uso portuario, es decir, que su explotación no influye en el desempeño de la labor portuaria por atraer mayores tráficos o influir de manera positiva en el manejo de las mercancías que acuden al puerto.

A su vez, los puertos con menor eficiencia financiera son puertos que destacan en el sistema portuario español por unos tráficos cautivos en determinados sectores, y tienden a mantener su negocio en torno a dichos tráficos. En el caso de Sevilla destacar que es el único puerto denominado como “Puerto de interior”, ya que su salida al mar se realiza a través de la navegación por el río Guadalquivir. Es un puerto con mucho activo, porque contiene mucho suelo de uso industrial, lo que puede provocar que en función de los tráficos que alberga, le perjudique a la hora de obtener mejores rentabilidades financieras.

REFERENCIAS

- [1] G. De Rus, L. Trujillo, B. Tovar, M. González y C. Román, “Competitividad de los Puertos Españoles”, Documento de Trabajo, Tribunal de Defensa de la Competencia. Madrid, España, 1995.

- [2] A. M. Bartual, "Perspectivas sobre la eficiencia del sistema portuario español", *Rect@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, vol. 12, pp. 1-20, 2011.
- [3] J.H. Ablanedo-Rosas, H. Gao, X. Zhen, B. Alidaee, and H. Wang, "A study of the relative efficiency of Chinese ports: a financial ratio-based data envelopment analysis approach," *Expert Systems*, vol. 27, no. 5, pp. 349-362, doi: 10.1111/j.1468-0394.2010.00552.x, 2010.
- [4] M.P. Todaro, *Economic Development*, 6th ed., London, UK: Longman, 1997, pp. 549-550.
- [5] J. Charłampowicz and C. Ma'kowski, "Economic efficiency evaluation system of maritime container terminals," *Ekonomia i Prawo. Economics and Law*, vol. 19, no. 1, pp. 21-32, 2020, doi: 10.12775/EiP.2020.002.
- [6] T.J. Coelli, "Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement," *Australian Journal of Agricultural Economics*, vol. 39, no. 3, pp. 219-245, 1995, doi: 10.1111/j.1467-8489.1995.tb00552.x.
- [7] D. Aigner, C.K. Lovell, and P. Schmidt, "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models," *Journal of econometrics*, vol. 6, no. 1, pp. 21-37, 1977, doi: 10.1016/0304-4076(77)90052-5.
- [8] W. Meeusen and J. van Den Broeck, "Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error," *International Economic Review*, vol. 18, no. 2, pp. 435-444, 1977, doi: 10.2307/2525757.
- [9] J.T. Pastor, "Global efficiency measures in DEA," II Oviedo Workshop, May, 2000, p. 70.
- [10] M.J. Farrell, "The measurement of productive efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, vol. 120, no. 3, pp. 253-290, 1957, doi:10.2307/2343100.
- [11] E. Rhodes, A. Charnes, and W.W. Cooper, "Measuring the efficiency of decision making units," *European Journal of Operational Research*, vol.2, no. 6, pp. 429-444, 1978.
- [12] A. Charnes, W.W. Cooper, and E. Rhodes, "Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through," *Management Science*, vol. 27, no. 6, pp. 668-697, doi: 10.1287/mnsc.27.6.668, 1981.
- [13] R.D. Banker, A. Charnes, and W.W. Cooper, "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis," *Management Science*, vol. 30, no. 9, pp. 1078-1092, doi: 10.1287/mnsc.30.9.1078, 1984.
- [14] E. Thanassoulis, *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis, a Foundation Text with integrated software*, New York, USA: Springer, 2001, doi: 10.1007/978-1-4615-1407-7.
- [15] J. Esteban García, V. Coll Serrano y A.L. López Roa. "Competitividad y eficiencia", *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 21, no. 3, pp. 423-450, 2003.
- [16] T.F. Wang, D.W. Song, and K. Cullinane, "Container port production efficiency: a comparative study of DEA and FDH approaches," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 5, pp. 698-713, 2003.
- [17] C.P. Barros, "The measurement of efficiency of Portuguese sea port authorities with DEA," *International Journal of Transport Economics/ Rivista Internazionale di Economia dei Trasporti*, vol. 30, no. 3, pp. 335-354, 2003.
- [18] C.P. Barros and M. Athanassiou, "Efficiency in European seaports with DEA: evidence from Greece and Portugal," in *Port Management*, H. E. Haralambides, Ed. 2015, pp. 293-313.
- [19] L.C. Lin and L.A. Tseng, "Application of DEA and SFA on the measurement of operating efficiencies for 27 international container ports," in *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 5, Bangkok, Thailand, Sep. 2005, pp. 592-607.
- [20] K. Cullinane and T.F. Wang, "The efficiency of European container ports: a cross-sectional data envelopment analysis," *International Journal of Logistics: Research and Applications*, vol. 9, no. 1, pp. 19-31, 2006, doi: 10.1080/13675560500322417.
- [21] J.L. Hu, C.N. Chiu, H.S. Shieh, and C.H. Huang, "A stochastic cost efficiency analysis of international tourist hotels in Taiwan," *International Journal of Hospitality Management*, vol. 29, no. 1, pp. 99-107, 2010.
- [22] A.G. Ropero, "Eficiencia operativa de terminales de contenedores. Análisis del puerto Bahía de Algeciras y su relación con los puertos de la Península Ibérica", Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, Cádiz, España, 2016.

- [23] A.G. Ropero, I.T. Dominguez, and M.M.C. Jiménez, "Bootstrapped operating efficiency in container ports: a case study in Spain and Portugal," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 119, no. 4, 2019.
- [24] N.K. Avkiran, "Association of DEA super-efficiency estimates with financial ratios: Investigating the case for Chinese banks," *Omega*, vol. 39, no. 3, pp. 323-334, 2011, doi: 10.1016/j.omega.2010.08.001.
- [25] A. Femandez-Castro and P. Smith, "Towards a general non-parametric model of corporate performance," *Omega*, vol.22, no. 3, pp. 237-249, doi: 10.1016/0305-0483(94)90037-X, 1994.
- [26] M. Al'Shammari and A. Salimi, "Modeling the operating efficiency of banks: a nonparametric methodology," *Logistics Information Management*, vol. 11, no. 1, pp. 5-17, doi: 10.1108/09576059810202196, 1998.
- [27] G.E. Halkos and D.S. Salamouris, "Efficiency measurement of the Greek commercial banks with the use of financial ratios: a data envelopment analysis approach," *Management Accounting Research*, vol. 15, no. 2, pp. 201-224, doi: 10.1016/j.mar.2004.02.001, 2004.
- [28] L. Simar and P.W. Wilson, "Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models," *Management Science*, vol. 44, no. 1, pp. 49-61, 1998.
- [29] B. Efron, "Bootstrap methods: another look at the jackknife," *Annals of Statistics*, vol. 7, no. 1, pp. 1-26, 1979, doi: 10.1214/aos/1176344552.
- [30] L. Simar and P.W. Wilson, "Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes," *Journal of Econometrics*, vol. 136, no. 1, pp. 31-64, 2007, doi: 10.1016/j.jeconom.2005.07.009.